

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AYDIN İLİ DİDİM İLÇESİNDEKİ KIRSAL BÖLGEDE YER ALAN  
BİR KONUTUN ELEKTRİK İHTİYACININ HİBRİT GÜNEŞ-RÜZGAR  
ENERJİ SİSTEMİ İLE KARŞILANMASININ ANALİZİ**

**BENGİSU KAYIKCI**

**KOCAELİ 2020**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYDIN İLİ DİDİM İLÇESİNDEKİ KIRSAL BÖLGEDE YER ALAN  
BİR KONUTUN ELEKTRİK İHTİYACININ HİBRİT GÜNEŞ-RÜZGAR  
ENERJİ SİSTEMİ İLE KARŞILANMASININ ANALİZİ

BENGİSU KAYIKCI

Prof. Dr. Fatma ÇANKA KILIÇ  
Danışman, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
Prof. Dr. Durmuş KAYA  
Jüri Üyesi, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
Doç. Dr. Ethem TOKLU  
Jüri Üyesi, DÜZCE ÜNİVERSİTESİ



Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2020

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Artan nüfus ve gelişen sanayi; enerjiye olan ihtiyacın gün geçtikçe artmasına neden olmaktadır. Geleneksel enerji kaynakları giderek azalırken, dünyaya ciddi zararlar vermektedir. İnsanoğlunun tüketim ve üretim alışkanlıklarını değiştirmezse sebep olacağı çevresel yıkım gerçeği; dünyayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan konutların elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması; sera gazı emisyonlarını ve fosil yakıt kullanım miktarını ciddi ölçüde azaltabilir. Bu tez çalışmasında Aydın ilinde bulunan bir konutun elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji sistemi ile karşılanmasının fizibilite çalışması yapılmıştır.

Çalışma konusunu belirlerken isteklerimi göz önünde bulundurarak bana yenilenebilir enerji alanında çalışma fırsatı veren, değerli vaktini ve bilgilerini benden esirgemeyen, endişeye kapıldığım zamanlarda ihtiyacım olan sakinlikle beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Fatma ÇANKA KILIÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hayattaki en büyük şansım olan sevgili aileme, hayatıma varlığıyla renk katan, gençliğimin gülen yüzü, kıymetli dostum Zehra Meltem ŞAHİN'e ve yollarımız kesiştiği için kendimi şanslı saydığım, meslektaş olma ile gurur duyduğum sevgili hayat arkadaşım Habib Berk ELGÜR'e hayatımda oldukları için teşekkür ederim.

Şubat – 2020

Bengisu KAYIKCI

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
GİRİŞ.....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Literatür Taraması.....	3
1.2. Çalışmanın Amacı.....	15
1.3. Çalışmanın Kapsamı.....	17
2. DÜNYADA ENERJİ.....	19
2.1. Dünyanın Enerji Görünümü.....	19
2.2. Petrol.....	21
2.3. Doğalgaz.....	22
2.4. Kömür.....	23
2.5. Nükleer Enerji.....	25
2.6. Hidroelektrik.....	26
2.7. Yenilenebilir Enerji.....	27
2.7.1. Güneş enerjisi.....	30
2.7.2. Rüzgar enerjisi.....	32
2.8. Karbondioksit Emisyonları.....	34
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	38
3.1. Kullanılan Veriler.....	38
3.1.1. Ekonomi piyasası verileri.....	38
3.1.2. Evsel elektrik tüketim ve elektrik birim fiyatı verileri.....	41
3.1.3. İklim verileri.....	43
3.2. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Değerlendirme Kriterleri.....	44
3.3. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Bileşenleri.....	44
3.3.1. Fotovoltaik sistem.....	44
3.3.2. Rüzgar türbini.....	47
3.3.3. Evirici.....	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
4.1. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Bulguları.....	55
4.2. Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırılması.....	67
4.3. Rüzgar Enerji Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	68
4.4. Hibrit Enerji Sisteminde Fotovoltaik Kapasitenin Etkisi.....	68
4.5. Hibrit Enerji Sisteminde Rüzgar Türbin Gücünün Etkisi.....	69
4.6. Fotovoltaik Sisteme Rüzgar Enerji Sistemi Eklenmesinin Etkisi.....	70
4.7. Rüzgar Enerji Sistemine Fotovoltaik Sistem Eklenmesinin Etkisi.....	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	79

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin yıllara göre değişimi.....	16
Şekil 1.2.	Türkiye'de konutların elektrik tüketiminin yıllara göre değişimi.....	16
Şekil 1.3.	Türkiye'nin ithal ettiği doğalgaz miktarının yıllara göre değişimi.....	17
Şekil 2.1.	Birincil enerji tüketiminin yıllara göre değişimi.....	20
Şekil 2.2.	2018 yılında dünyanın elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	20
Şekil 2.3.	Kanıtlanmış petrol rezervlerinin yıllara göre değişimi .....	21
Şekil 2.4.	Ham petrol varil fiyatlarının yıllara göre değişimi.....	22
Şekil 2.5.	Doğalgaz üretiminin yıllara göre değişimi.....	23
Şekil 2.6.	Kömürün ton fiyatının yıllara göre değişimi.....	23
Şekil 2.7.	2018 yılında kanıtlanmış kömür rezervlerinin ülkelere göre dağılımı .....	24
Şekil 2.8.	Ülkelerin kömür tüketiminin yıllara göre değişimi.....	24
Şekil 2.9.	Ülkelerin nükleer enerji üretiminin yıllara göre değişimi.....	25
Şekil 2.10.	Ülkelerin hidroelektrik santrallerden ürettiği elektrik miktarının yıllara göre değişimi.....	26
Şekil 2.11.	Dünyada yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin yıllara göre değişimi.....	29
Şekil 2.12.	2018 yılında ülkelerin yenilenebilir kaynaklardan ürettiği elektrik miktarı.....	29
Şekil 2.13.	Ülkelerin güneş enerjisinden elektrik üretiminin yıllara göre değişimi.....	30
Şekil 2.14.	2018 yılında ülkelerin güneş enerjisinden ürettikleri elektrik miktarı.....	31
Şekil 2.15.	Güneş enerjisi kurulu gücünün ülkelerde yıllara göre değişimi.....	31
Şekil 2.16.	Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.....	32
Şekil 2.17.	Ülkelerin rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin yıllara göre değişimi.....	32
Şekil 2.18.	2018 yılında ülkelerin rüzgar enerjisinden ürettikleri elektrik miktarı.....	33
Şekil 2.19.	Rüzgar enerjisi kurulu gücünün ülkelerde yıllara göre değişimi.....	33
Şekil 2.20.	Türkiye'nin 50 m yükseklikte rüzgar hızı haritası .....	34
Şekil 2.21.	Dünyanın toplam karbondioksit emisyonunun yıllara göre değişimi.....	36
Şekil 2.22.	Türkiye'nin karbondioksit emisyonunun yıllara göre değişimi.....	37
Şekil 3.1.	Bankaların 1 yıl ve daha uzun vadeli Türk lirası mevduatlarına fiilen uyguladığı azami faiz oranının aylara göre değişimi.....	39
Şekil 3.2.	TÜFE oranının aylara göre değişimi.....	39
Şekil 3.3.	ÜFE oranının aylara göre değişimi.....	40
Şekil 3.4.	1/10/2019 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tablosu .....	42
Şekil 3.5.	Aydın ili aylık ortalama radyasyon dağılımı.....	43
Şekil 3.6.	Aydın ili 50 metre yükseklik için rüzgar hızı dağılımı.....	43
Şekil 3.7.	Fotovoltaik hücre, modül, panel, dizi gösterimi.....	45
Şekil 3.8.	Homer Grid yazılımına tanımlanan 1 kw fotovoltaik sistem maliyeti.....	46
Şekil 3.9.	Yatay eksenli rüzgar türbini şematik gösterimi.....	47
Şekil 3.10.	Homer grid rüzgar türbini kütüphanesi ekran görüntüsü.....	48

Şekil 3.11.	500 watt rüzgar türbinin güç eğrisi.....	49
Şekil 3.12.	700 watt rüzgar türbinin güç eğrisi.....	50
Şekil 3.13.	1000 watt rüzgar türbinin güç eğrisi.....	50
Şekil 3.14.	1500 watt rüzgar türbinin güç eğrisi.....	51
Şekil 3.15.	2000 watt rüzgar türbinin güç eğrisi.....	51
Şekil 3.16.	500 watt rüzgar türbinin maliyeti.....	52
Şekil 3.17.	700 watt rüzgar türbinin maliyeti.....	52
Şekil 3.18.	1000 watt rüzgar türbinin maliyeti.....	52
Şekil 3.19.	1500 watt rüzgar türbinin maliyeti.....	52
Şekil 3.20.	2000 watt rüzgar türbininin maliyeti.....	52
Şekil 3.21.	Homer grid evirici kütüphanesi ekran görüntüsü.....	54
Şekil 4.1.	Şebekeye bağlı 1 kw fotovoltaik enerji sisteminin şeması.....	60
Şekil 4.2.	Şebekeye bağlı 1 kw fotovoltaik enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	60
Şekil 4.3.	Şebekeye bağlı 5 kw fotovoltaik enerji sisteminin şeması.....	60
Şekil 4.4.	Şebekeye bağlı 5 kw fotovoltaik enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	61
Şekil 4.5.	Şebekeye bağlı 10 kw fotovoltaik enerji sisteminin şeması.....	61
Şekil 4.6.	Şebekeye bağlı 10 kw fotovoltaik enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	61
Şekil 4.7.	Şebekeye bağlı 19 kw fotovoltaik enerji sisteminin şeması.....	62
Şekil 4.8.	Şebekeye bağlı 19 kw fotovoltaik enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	62
Şekil 4.9.	Şebekeye bağlı 1,5 kw rüzgar enerji sisteminin şeması.....	63
Şekil 4.10.	Şebekeye bağlı 1,5 kw rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	63
Şekil 4.11.	Şebekeye bağlı 2 kw rüzgar enerji sisteminin şeması.....	63
Şekil 4.12.	Şebekeye bağlı 2 kw rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	64
Şekil 4.13.	Şebekeye bağlı 1 kw fotovoltaik sistem ve 1,5 kw rüzgar enerji sisteminin şeması.....	64
Şekil 4.14.	Şebekeye bağlı 1 kw fotovoltaik sistem ve 1,5 kw rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	65
Şekil 4.15.	Şebekeye bağlı 1 kw fotovoltaik sistem ve 2 kw rüzgar enerji sisteminin şeması.....	65
Şekil 4.16.	Şebekeye bağlı 1 kw fotovoltaik sistem ve 2 kw rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	65
Şekil 4.17.	Şebekeye bağlı 5 kw fotovoltaik sistem ve 1,5 kw rüzgar enerji sisteminin şeması.....	66
Şekil 4.18.	Şebekeye bağlı 5 kw fotovoltaik sistem ve 1,5 kw rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi.....	66

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	2018 yılında karbondioksit emisyonu en yüksek olan 10 ülke ve emisyon değerleri .....	36
Tablo 3.1.	Konutun elektrik tüketen cihazları ve tüketim değerleri.....	41
Tablo 4.1.	Şebeke ve şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinin bileşenleri, ekonomik ve çevresel parametreleri.....	58



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

\$	:Amerikan doları
¢	:Gana sedisi
°C	:Santigrat derece
GW	:Gigawatt
GWh	:Gigawatt saat
kW	:Kilowatt
kWh	:Kilowatt saat
MW	:Megawatt
MWh	:Megawatt saat
TW	:Terawatt
TWh	:Terawatt saat

### Kısaltmalar

AC	:Alternating Current (Alternatif Akım)
Btu	:British Thermal Unit (İngiliz Isı Birimi)
DC	:Direct Current (Doğru Akım)
EPDK	:Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
LED	:Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
NASA	:National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
TAEK	:Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TCMB	:Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası
TEİAŞ	:Türkiye Elektrik İletim Dağıtım Anonim Şirketi
TEP	:Ton Eşdeğer Petrol
TÜFE	:Tüketici Fiyat Endeksi
TÜİK	:Türkiye İstatistik Kurumu
ÜFE	:Üretici Fiyat Endeksi



## AYDIN İLİ DİDİM İLÇESİNDEKİ KIRSAL BÖLGEDE YER ALAN BİR KONUTUN ELEKTRİK İHTİYACININ HİBRİT GÜNEŞ-RÜZGAR ENERJİ SİSTEMİ İLE KARŞILANMASININ ANALİZİ

### ÖZET

Atmosferde biriken sera gazı miktarı ve fosil yakıtların birim fiyatları sürekli artmaktadır. Bu yüzden yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi önem kazanmaktadır. Kendi elektriğini üreten konutlar dünya genelinde yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada Aydın ili Didim ilçesi kırsalında yer alan bir konutun elektrik ihtiyacının şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemi ile karşılanmasının ekonomik ve çevresel analizi yapılmıştır. Tipik bir konutta bulunabilecek cihazların kullanılabilmesi için gereken elektrik ihtiyacı hesaplanmıştır. Konutun günlük elektrik ihtiyacı 2,68 kW pik yük ile 12,63 kWh olarak hesaplanmıştır. Enerji sistemlerinin modellenmesi için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Rüzgar enerji sistemine fotovoltaik sistem eklenmesinin; sistemi her yönden iyileştirdiği görülmüştür. Fotovoltaik sisteme rüzgar türbini eklenmesinin; geri ödeme süresi dışında sistemi iyileştirdiği görülmüştür. Şebekeye yenilenebilir enerji sistemi bağlantısının emisyon miktarlarını %26 ile %58 oranında azalttığı hesaplanmıştır. 19 kW fotovoltaik sistemin şebekeye bağlanmasıyla oluşan sistemin; yenilenebilir enerji kullanım oranı %93,10 ve enerji birim fiyatı -0,0354 TL/kWh olmuştur. Optimum hibrit enerji sistemi; 5 kW fotovoltaik sistem ve 1,5 kW rüzgar türbininin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Yenilenebilir enerji sistemlerinin satın alma maliyetleri düşerse yenilenebilir kaynakların kullanımının artacağı belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş-Rüzgar Enerji Sistemi, Hibrit Enerji Sistemi, Yenilenebilir Enerji

## **ANALYSIS OF HYBRID SOLAR-WIND ENERGY SYSTEM FOR HOUSING IN RURAL AREA IN DIDIM DISTRICT OF AYDIN**

### **ABSTRACT**

The amount of greenhouse gases in the atmosphere and the unit prices of fossil fuels are constantly increasing. Therefore, electricity generation from renewable sources is getting important. Housing, which generate its own electricity, are becoming widespread throughout the world. In this study, environmental and economic analyzes of grid-connected renewable energy systems for a residential building in rural area in Didim district of Aydın, was performed. The electricity requirement, which is for devices that may be found in a typical house, was calculated. Daily electricity requirement of the housing; it was calculated as 12.63 kWh with a peak load of 2.68 kW. HOMER software was used for the modeling and analysis of grid-connected renewable energy systems. The addition of the wind energy systems to the photovoltaic energy systems, was found to be beneficial in every aspect. The addition of the photovoltaic energy systems to the wind energy systems was found to be beneficial in every aspect except payback time. It was calculated that the connection of renewable energy systems to the grid, reduces greenhouse gas emissions by 28% and 56%. The system, which has the energy unit price of -0.0354 TL/kWh and the renewable energy utilization rate of 93%, was established by connecting of 19 kW photovoltaic system to the grid. Optimum hybrid energy system was formed by connecting 5 kW photovoltaic system and 1.5 kW wind turbine to the grid. It was stated that if the purchase costs of renewable energy systems decrease, the use of renewable resources will increase.

**Keywords:** Solar-Wind Energy System, Hybrid Energy System, Renewable Energy

## **GİRİŞ**

Modern insan hayatının her aşaması elektrik enerjisine bağımlıdır. Günlük hayatımızın rutinlerini ve tükettiğimiz ürünlerin üretimi, elektrik enerjisi ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle medeniyetler için enerji, her zaman kritik bir öneme sahip olmuştur.

Artan dünya nüfusu ile tüketilen enerji de artış göstermektedir. Dünyanın sınırlı kaynakları bu talebe karşılık vermekte yakın bir gelecekte yetersiz kalacaktır. Bu nedenle geleneksel enerji üretim yöntemleri ve kaynakları, üretimdeki payını alternatif enerji üretim yöntemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları ile paylaşmaya başlamıştır.

Yenilenemez enerji kaynaklarının depolanması ve bir yerden başka bir yere iletilmesi kolaydır. Daha düşük yatırım maliyeti ile yüksek kapasitede enerji üretimi sağlayan fosil kaynaklar; kesintisiz üretim sağlayabilirler. Bu avantajlara karşılık birçok olumsuz özelliğe de sahiptirler. Yenilenemez enerji kaynaklarının rezervleri zamanla azaldığı için, bu kaynaklardan üretilen enerjinin maliyeti gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının elde edilmesi, kullanılması ve atıkları çevresel olarak yıkıcı etkilere sahiptir. Fosil kaynaklar yeryüzünde eşit olarak dağılmadığı için birçok ülke enerjide dışa bağımlı durumdadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları; yenilenemez enerji kaynakları karşısında önemli avantajlara sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları, her bölgede doğal olarak bulunur. Bazı bölgelerin güneş enerjisi potansiyeli yüksekken; bazı bölgeler yüksek rüzgar enerjisi potansiyeline veya yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada sınırsız bir şekilde bulunur. Bu nedenle enerjide dışa bağımlılığı azaltırlar. Yenilenebilir enerji teknolojilerinde yaşanan gelişmeler sayesinde, yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyetleri zamanla azalmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin birim maliyeti azalma eğilimindedir. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde doğal yaşam alanlarının tahribatı ve emisyon değerleri; yenilenemez enerji kaynaklarından üretim ile karşılaştırıldığı zaman, yok denecek kadar azdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanacak üretim, yenilenemez enerji kaynaklarından sağlanacak üretim gibi sabit ve sürekli değildir. Yenilenebilir kaynaklarından üretilen enerji; doğası gereği değişken ve kesintilidir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemler, her durumda yeterli olmayabilmektedir. Bu nedenle birbirlerini tamamlayıcı özelliklere sahip yenilenebilir kaynaklar, hibrit enerji sistemlerinde birlikte kullanılmaktadır. Birden fazla enerji kaynağının beraber kullanıldığı hibrit sistemler, tüketim talebini karşılamada çoğu zaman istenilen sonucu verebilmektedir. Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi, enerji üretim sistemine günün farklı zamanlarında katkı sağlarlar. Bu nedenle hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinde; tamamlayıcı rolleri nedeniyle rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi birlikte kullanılabilir.

Büyük ölçekli elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların kullanılması çevresel olarak büyük faydalar sağlamaktadır. Küçük ölçekli yatırımlarda da yenilenebilir kaynaklarda elektrik üretimi fark yaratma potansiyeline sahiptir. Avrupa İstatistik Ofisi'nin verilerine göre 2017 yılında, Avrupa Birliği ülkelerinde konutların elektrik tüketimi; nihai elektrik tüketiminin %27,2'sine denk gelmiştir (URL-1). Bu nedenle konutların elektrik ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan sağlanması, ekonomik ve çevresel olarak ciddi faydalar sağlama potansiyeline sahiptir.

Bu tez çalışmasında; Aydın ili Didim kırsalında yer alan bir konutun elektrik enerjisi talebini karşılamak için hibrit yenilenebilir enerji sisteminin boyutlandırılması, ekonomik ve ekolojik değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışma ile konutlara hibrit yenilenebilir enerji sistemi eklentisinin çevresel ve ekonomik avantajlarına dikkat çekilmesi hedeflenmiştir.

## 1. GENEL BİLGİLER

Bu çalışmada Aydın ili Didim ilçesi kırsalında yer alan bir konutun elektrik ihtiyacının yenilenebilir hibrit enerji sistemi ile karşılanmasının değerlendirilmesi yapılmıştır. Enerji sistemi şebekeye bağlı olarak modellenmiştir. Modelleme Homer Grid yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Konutun; şebekeden satın aldığı elektriğin ve şebekeye satacağı elektriğin birim fiyatları Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun 8864 numaralı kurul kararında sunulan 1/10/2019 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tablosundan alınmıştır. Yenilenebilir enerji sistemi bileşenlerinin fiyatları; birden fazla satıcıdan alınan fiyatlar ışığında belirlenmiştir.

Şebekeye bağlı olarak tasarlanacak olan yenilenebilir enerji sisteminin geri ödeme süresinin yaklaşık 10 yıl olması öngörülmüştür. Yenilenebilir enerji sisteminin şebekeye bağlanması ile oluşturulacak yeni sistemde; elektrik birim fiyatının, şebekeden satın alınan elektriğin birim fiyatının yarısından az olması hedeflenmiştir. Yenilenebilir enerji sisteminin şebekeye bağlanması ile yenilenebilir enerji kullanım oranının %70'den fazla olması öngörülmüştür.

Yenilenebilir enerji kaynakları doğası gereği süreksiz ve veya değişkendir. Bir yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı enerji sistemlerinde; yenilenebilir enerji kaynaklarının bu süreksizliği üretimi düzensizleştirir.

Hibrit enerji sistemleri; birden fazla enerji kaynağının aynı sistem için beraber kullanılmasıyla oluşturulur. Hibrit enerji sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması; yenilenebilir kaynakların doğasında yer alan süreksizliği en az indirgeyebilir. Bu nedenle hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı artmaktadır.

### 1.1. Literatür Taraması

Bu tez çalışması için yapılan literatür araştırmasında incelenen çalışmalar kapsamlarına göre sıralanmıştır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarım optimizasyonları ve dezavantajlarını kapsayan çalışmalar sırasıyla verilmiştir.

2009 yılında yayınlanan çalışmada; şebekeden bağımsız hibrit güneş-rüzgar enerji sistemleri çalışılmıştır. Hibrit güneş-rüzgar enerji sistemleri için kullanılan simülasyon, optimizasyon teknikleri ve kontrol tekniklerinin mevcut durumları değerlendirilmiştir.

Yapay zeka tekniklerinin enerji yönetim sisteminin bir parçası olmasının maliyetleri azaltacağı sonucuna varılmıştır (Zhou ve diğ., 2009).

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin boyutlandırılmasında mevcut araştırmaların özetlendiği bu çalışmada; hibrit enerji sistemlerinin optimizasyonunda kullanılan teknikler karşılaştırılmıştır. Hibrit optimizasyon yöntemlerinin diğer yöntemlerden daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır (Luna-Rubio ve diğ., 2012).

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin optimizasyon tekniklerinin incelendiği çalışmada; sistemin şebekeden bağımsız olması durumu için değerlendirme yapılmıştır. Paralel işleme yöntemleri ve genetik algoritma, bal arısı üreme optimizasyonu, parçacık sürü optimizasyonu, evrimsel algoritma, yapay zeka, pareto tabanlı çok amaçlı optimizasyon teknikleri değerlendirilmiştir. Hibrit enerji sistemlerinin tasarımı için en kullanışlı optimizasyon tekniklerinin genetik algoritma ve pareto tabanlı optimizasyon tekniği olduğu görülmüştür. Bu tekniklerin gelecek vadeden çok amaçlı optimizasyon teknikleri olduğu sonucuna varılmıştır (Fadaee ve Radzi, 2012).

100'e yakın araştırma makalesinin değerlendirildiği çalışmada, 1982 ve 2012 yılları arasında yayınlanan makaleler değerlendirilmiştir. Yapay zeka temelli optimizasyon tekniklerinin optimizasyon sürecini iyileştirme potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Khatib ve diğ., 2012).

Konut elektrik ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasını kapsayan çalışmada; tipik bir evin elektrik ihtiyacını karşılamak için tasarlanacak hibrit yenilenebilir enerji sisteminin optimizasyonu için yöntem sunulmuştur. Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olması durumları değerlendirilmiştir. Parçacık sürü optimizasyon tekniğinin; enerji birim maliyetini düşürmek ve üretim-talep arasındaki dengeyi kurmaktaki hassasiyeti kanıtlanmıştır (Amer ve diğ., 2013).

Tüm şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız hibrit yenilenebilir enerji sistemlerini kapsayacak şekilde yapılan bu çalışmada; tasarım parametreleri, değerlendirme kriterleri ve enerji yönetimi konuları değerlendirilmiştir. Tek bir yöntemin diğer yöntemler karşısında farklı üstünlük ve zayıflıkları olduğu belirtilmiştir. Tek bir yöntemin sınırlamalarını aşmak için hibrit sistem tasarımında hibrit optimizasyon yöntemlerinin kullanılması önerilmiştir (Upadhyay ve Sharma, 2014).

Şebekeden bağımsız enerji sistemlerini kapsayan çalışmada; yenilenebilir kaynakların hibrit enerji sistemlerinde birleşimi incelenmiştir. Enerji sistemlerinin boyutlandırılmasında kullanılan teknikler ve HOMER, HOGA, RETScreen, HYBRIDS, TRNSYS yazılımları değerlendirilmiştir. Yapay zeka tekniklerinin sahip olduğu üstünlükler sayesinde diğer deterministik yöntemlerden daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Gelecek araştırmalar için en umut vadeden algoritmaların ise; genetik algoritma, uyum araştırma, parçacık sürü optimizasyonu, biyocoğrafya temelli optimizasyon olduğu sonucuna varılmıştır (Chauhan ve Saini, 2014).

16 yayının güncel literatür çalışmasının sunulduğu yayın, güneş-rüzgar enerji sistemlerini kapsamaktadır. Güneş-rüzgar enerji sistemlerinin boyutlandırmasındaki tekil optimizasyon teknikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca güneş-rüzgar enerji sistemlerini araştırmada ve geliştirmede kullanılan hibrit algoritmaları kapsayan optimizasyon teknikleri de incelenmiştir. Tek optimizasyon tekniği ile oluşturulan sistemlerin zayıf yönleri belirtilmiştir. İki veya daha fazla optimizasyon tekniğinin beraber kullanıldığı hibrit optimizasyon tekniklerinin daha doğru sonuçlar verdiği saptanmıştır (Sinha ve Chandel, 2015).

2015 yılında yayınlanan çalışmada; hibrit enerji sistemleri için çok amaçlı optimizasyon teknikleri değerlendirilmiştir. Karşılaştırılan yaklaşımlar sonucunda; hibrit enerji sistemlerinin enerji ve çok amaçlı optimizasyon teknikleri arasında daha fazla etkileşime ihtiyaç duyduğu sonucuna varılmıştır (Bourenanni ve diğ., 2015).

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin optimizasyonu için kullanılan yöntem ve kriterlerin değerlendirildiği çalışmada HYES sektöründeki mevcut eğilim göz önüne alınmıştır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerindeki mevcut eğilimin; yapay zekanın uzun vadeli atmosfer verisi olmadan iyi bir şekilde optimizasyon sağlayabileceğini gösterdiği sonucuna varılmıştır (Bhandari ve diğ., 2015).

Hibrit güneş-rüzgar enerji sistemlerinin boyutlandırma ve optimizasyonunda en çok kullanılan yöntemlerin güncellenmiş bir literatür çalışmasının sunulduğu çalışmada, hiçbir optimizasyon tekniğinin diğer tekniklerden her yönden üstün olmadığı görülmüştür. Yazılım araçları arasında ise HOMER yazılımının en fazla yenilenebilir enerji sistemi kombinasyonuna sahip olması, birçok sistem konfigürasyonunu değerlendirmeyi kolaylaştıran optimizasyon ve hassasiyet analizinin diğer yazılımlardan üstün olduğu belirtilmiştir. HOMER yazılımının bu üstünlükleri sayesinde en yaygın kullanılan yazılım olduğu görülmüştür (Anoune ve diğ., 2018).

Şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız farklı tip hibrit güneş-rüzgar enerji sistemlerinin modellenmesi ve geliştirilmesi çalışılmıştır. Şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemlerinin ortak zorluklarının; iki veya daha fazla enerji kaynağının paralel bağlanarak enerji talebinin karşılanması ve farklı enerji kaynaklarının kullanılabilirliğinin farklı saatler olması olduğu belirtilmiştir (Hasan ve diğ., 2019).

Tasarımı yapılan hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin ekonomik, ekolojik ve veya performans değerlendirmesinin yapıldığı çalışmalar yayınladıkları yıl sırasıyla verilmiştir.

Optimum hibrit enerji sistemi tasarımının yapıldığı çalışmada; yıllık elektrik ihtiyacı 620 MWh olan iş merkezinin elektrik ihtiyacının karşılanması değerlendirilmiştir. Hibrit enerji sistemi; rüzgar türbini, fotovoltaik sistem, dizel jeneratör ve aküden oluşturulmuştur. Akü kapasitesi 3 günlük elektrik ihtiyacını karşılayacak şekilde belirlenmiştir. Optimum sistem; 30 adet 10 kW rüzgar türbini, 150 m<sup>2</sup> fotovoltaik panel, akü ve dizel jeneratörden oluşmuştur. Dizel jeneratörün üretimdeki payı %17 olarak hesaplanmıştır. Sistemden akünün çıkarılması durumunda jeneratörün üretimdeki payının %38'e çıktığı ve emisyon miktarının arttığı görülmüştür (Elhadidy ve Shaadid, 2003).

Corsica adası için şebekeden bağımsız hibrit güneş-rüzgar enerji sistemlerinin optimizasyonunun yapıldığı çalışmada; enerji sistemi için adada 5 ayrı bölge değerlendirilmiştir. Enerji sistemlerinin teknik ve ekonomik optimizasyonunda en düşük birim enerji maliyetine ve en uygun boyutlandırmaya sahip sistemin oluşturulması amaçlanmıştır. Adada değerlendirilen 5 bölge de aynı güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu için sistemin birim enerji maliyetini belirlemede, rüzgar enerjisi potansiyeli etkin olmuştur. Tüm bölgelerde hibrit enerji sistemi; sadece rüzgar enerji sistemi ve sadece güneş enerji sisteminden daha yüksek performans sergilendiği için her bölgede en uygun sistem; hibrit enerji sistemi ile oluşturulmuştur. Yedek elektrik kaynağı olarak üçüncü bir kaynak kullanılırsa; birim enerji maliyetinin ve ihtiyaç fazlası üretimin azalacağı belirtilmiştir (Diaf ve diğ., 2008).

Su ihtiyacını deniz suyunu arıtarak karşılayan bir sera için güneş ve rüzgar enerjisinden güç sağlayan hibrit enerji sisteminin fizibilitesinin yapıldığı çalışmada; günlük 297 litre su kullanan seranın fosil yakıtlı yedek güç kaynağı sistemlerine ihtiyaç



duymadan hibrit enerji sistemi ile ihtiyacının karşılanabileceği sonucuna varılmıştır (Mahmoudi ve diğ., 2008).

Hibrit fotovoltaik-rüzgar-akü enerji sisteminin optimizasyonunun ve tipik bir yerleşim yeri yükü için performans analizinin yapıldığı çalışmada; fizibilite ve optimum boyutlandırma için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Tasarım kriterleri olarak; birim enerji maliyeti, enerji aşımı, net bugünkü değer, yenilenebilirlik oranı ve geri ödeme süresi belirlenmiştir. Çalışma; 61 kW pik yük ile günlük 169 kWh elektrik enerjisi talebi olan, şebeke elektriğine erişimi kısıtlı olan bu bölge için yapılmıştır. Minimum birim enerji maliyetini veren sistem tasarlanmıştır ve sistemin birim enerji maliyeti 0,363 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Bu sistemde üretilen elektriğin %52'si fotovoltaik paneller ile %48'i rüzgar türbinleri ile üretildiği görülmüştür. Bu sistemin birim enerji maliyeti; bir yenilenebilir enerji kaynağı kullanan şebekeden bağımsız sistemlerin birim enerji maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin; güneş-akü enerji sisteminden %45, rüzgar-akü enerji sisteminden %78 daha az birim enerji maliyetine sahip olduğu görülmüştür. Mevcut fosil yakıt kaynaklı elektrik üretim yöntemi ile karşılaştırıldığı zaman bu sistem yıllık 25 ton karbondioksit salınımının önüne geçmektedir. Artan enerji talebi ve fosil yakıt fiyatları nedeniyle uzun vadede mikro grid teknolojisinin şebeke ile rekabet edebilir duruma geleceği belirtilmiştir (Nandi ve Gosh, 2009).

Baz istasyonlarının elektrik ihtiyacının şebekeden veya dizel jeneratörlerden karşılanmasına alternatif olarak yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirildiği çalışmada; optimum enerji sistemi tasarımı yapılmıştır. Yedek dizel jeneratöre sahip hibrit güneş-rüzgar enerji sisteminin elverişli meteorolojik koşullarda 2-4 yıl geri ödeme süresine sahip olduğu belirlenmiştir. Yedek dizel jeneratöre sahip hibrit yenilenebilir enerji sisteminin; yedek dizel jeneratörlü şebeke bağlantılı sistemden %70-80 daha az yakıt kullandığı ve bu nedenle hem daha çevreci hem de daha ekonomik bir seçenek olduğu belirtilmiştir (Nema ve diğ., 2010).

Batarya depolamalı hibrit fotovoltaik-rüzgar enerji sistemlerinin bileşenlerinin boyutlandırılması için tekrarlamalı tekniğin uygulandığı çalışmada; boyutlandırma modeli önerilmiştir. Önerilen model; hibrit sistemin alt modellerini, güç kaynağı olasılığının yetersizliğini ve birim enerji maliyetlerini dikkate almaktadır. Model; güç kaynağı olasılığı yetersizliğini karşılayan hibrit sistem alt modelleri arasından en düşük birim enerji maliyetine sahip olan sistemi sonuç olarak önermektedir. Bu entegre yöntem ile şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin

boyutlandırılmasının; sistem güvenilirliği sağlanarak ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir. Önerilen modelin vaka çalışması, Cezayir Bouzareah'taki yenilenebilir enerji geliştirme merkezinde yer alan konutların enerji ihtiyacını karşılamak için tasarlanmış bir projeyi analiz ederek yapılmıştır (Kaabache ve diğ., 2010).

Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin standart şebeke ile karşılaştırıldığı çalışmada; sistemler çevresel ve ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Günlük enerji ihtiyacı 7,7 kW pik yük ile 95 MWh olan kurak bir bölgenin elektrik ihtiyacını karşılamak için büyük ölçekli, şebeke bağlantılı hibrit fotovoltaik-rüzgar enerji sistem tasarlanmıştır. Enerji sistemini değerlendirmede kullanılan çevresel kriterler; emisyon değerleri ve yenilenebilir enerji kullanım oranı olarak belirlenmiştir. Ekonomik değerlendirme kriterleri; toplam net bugünkü değer ve enerji birim maliyeti olmuştur. Enerji sisteminin optimizasyon ve modellemesi HOMER yazılımı ile yapılmıştır. Cezayir'in saatlik güneş ışınımı ve rüzgar verileri kullanılmıştır. Optimum şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir enerji sistemi; BWC Excel-R rüzgar türbini ve 1 kW fotovoltaik modülden oluşmuştur. Şebeke elektriğinin birim fiyatı 0,3 \$/kWh olan bölgede; şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sisteminin birim enerji maliyeti 0,256 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Şebekeye hibrit yenilenebilir enerji sisteminin bağlanmasıyla oluşan yeni enerji sistemin; standart şebekeden %40 daha az emisyon miktarına sahip olduğu belirtilmiştir. Rüzgar türbinin üretiminin artması ile şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir enerji sisteminin toplam net bugünkü maliyetin, emisyon miktarının ve birim enerji maliyetinin azalacağı belirtilmiştir. Bu şartlar altında tasarlanan sistemin çalışılan bölge için uygulanabilir olduğu görülmüştür (Saheb-Koussa ve diğ., 2011).

İki farklı bölge için şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sistemi simülasyonunun yapıldığı çalışmada; enerji sistemlerinden birisi şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem iken diğeri şebekeden bağımsız hibrit fotovoltaik-rüzgar enerji sistemidir. Simülasyon için seçilen bölgeler; Lefkoşa, Kıbrıs ve Nice, Fransa olarak belirlenmiştir. Bu bölgeler farklı rüzgar potansiyeli ve çok az farkla benzer güneş enerji potansiyeline sahip oldukları için seçilmişlerdir. Simülasyonlar TRNSYS yazılımı ile yapılmıştır. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sisteminin Lefkoşa için daha uygun olduğu görülmüştür. Şebekeden bağımsız fotovoltaik güneş sistemi Lekfoşa için 11,7 kW iken Nice için 15,3 kW olarak hesaplanmış ve her iki bölgedeki depolama ünitesi 108 kWh olarak eklenmiştir. Şebekeden bağımsız hibrit fotovoltaik-rüzgar enerji sistemi her iki bölgeye uygulandığında ise daha iyi rüzgar potansiyeline sahip olması nedeniyle sistem Nice'de daha olumlu sonuç vermiştir. Nice için tasarlanan hibrit

fotovoltaik-rüzgar enerji sistemi; 2 adet 2,4 kW rüzgar türbini, 9,9 kW fotovoltaik sistem ve 108 kWh depolama ünitesinden oluşmuştur. Benzer sistemin Lefkoşa'da uygulanması hibrit sistemin daha düşük yaşam döngüsü maliyetine sahip olması nedeni ile uygun bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin bir bölgede uygulanabilirliğinin o bölgenin iklim özellikleri ile doğrudan ilgili olduğu sonucuna varılmıştır (Panayiotou ve diğ., 2011).

Pareto evrimsel algoritmanın; batarya depolamalı şebekeden bağımsız hibrit fotovoltaik-rüzgar-dizel enerji sisteminin çok amaçlı optimizasyonuna uygulanmasını değerlendirildiği çalışmada HOGA yazılımı kullanılmıştır. Tasarımda amaçlanan kriterler; birim enerji maliyetini ve sistemin servis ömrü boyunca emisyon değerlerini azaltmaktır. Pareto algoritmasının önerdiği her hibrit fotovoltaik-rüzgar-dizel-akü sistemi enerji talebini karşılarken her biri farklı birim enerji maliyetlerine ve yaşam boyu emisyon değerlerine sahip. Çalışma sonuçları; fotovoltaik jeneratörün İspanya ve Güney Avrupa için şebekeden bağımsız sistemler için sadece ekolojik değil aynı zamanda ekonomik avantajları nedeniyle en önemli kaynak olduğunu göstermiştir. Pareto algoritmasının önerdiği bazı çözümlerde yılda birkaç saat çalışan dizel jeneratör ve türbin katkısı nedeniyle güneş enerjisi neredeyse tek kaynak olarak öne çıkmıştır. Fotovoltaik panellerin rüzgarlı ortamlardaki sistemlere bile dahil edilmesi gerektiği; çalışmada değerlendirilen bölgelerin iklim koşullarında sadece rüzgar türbinin optimum olmadığı görülmüştür (Duflo-Lopez ve diğ., 2011).

Suudi Arabistan'da elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanan bir köy için hibrit rüzgar-fotovoltaik-dizel jeneratör enerji sisteminin tasarlandığı çalışmada optimum hibrit enerji sistemi oluşturulmuştur. Köyün elektrik enerjisi ihtiyacı mevcutta 1120 kWlık 8 dizel jeneratör tarafından karşılanmaktadır. Optimizasyon sonucunda oluşturulan sistemin enerji sisteminin yenilenebilir enerji kullanım oranı %35 ve birim enerji maliyeti 0,212 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. %35 olan yenilenebilir enerji kullanım oranının %26'sının rüzgar enerjisi, %9'u güneş enerjisi olduğu belirtilmiştir. Oluşturulan optimum hibrit enerji sistemi; 3 adet 600 kW rüzgar türbini, 1000 kW fotovoltaik panel 1120 kW 4 dizel jeneratörden oluşmuştur. Köyün elektrik enerjisi ihtiyacı 17043,4 MWh olarak tespit edilmiştir ve tasarlanan sistem %4,11 oranındaki ihtiyaç fazlası enerji üretimiyle elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamada yeterli olmuştur. Oluşturulan hibrit enerji sisteminde; rüzgar türbininin yıllık üretimi 4713,7 MWh, fotovoltaik sistemin yıllık üretimi 1653,5 MWh ve dizel jeneratörün yıllık üretimi 11542,6 MWh olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan hibrit enerji sistemi enerji ihtiyacının tamamını karşılamada yeterli olmuştur. %35 yenilenebilir enerji sistemine sahip olan

hibrit enerji sisteminin mevcut sistem yerine kullanılmasıyla yıllık 4976,8 ton sera gazı emisyonunun ve 10824 varil fosil yakıt kullanımının önüne geçileceği görülmüştür (Rehman ve diğ., 2011).

Şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin boyutlandırmasının yapıldığı çalışmada; sistem optimizasyonu için genetik algoritma kullanılmıştır. Enerji sisteminin boyutlandırılmasında; bileşenlerin kullanım ve servis ömrü dikkate alınmıştır. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin optimizasyonunda; yaşam döngüsü maliyetini azaltmak, yenilenebilir enerji kullanım oranını arttırmak ve emisyon miktarını azaltmak hedeflenmiştir. Çalışmada önerilen optimizasyon yöntemi Dongfushan adası, Çin'de bulunan şebekeden bağımsız enerji sistemi için uygulanmıştır. Adadaki enerji sistemi bileşenleri; rüzgar türbini, fotovoltaik sistem, dizel motor ve aküden oluşmaktadır. Optimum şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi; 3 tane 70 kW gücünde rüzgar türbini, 100 kW gücünde fotovoltaik panel, 200 kW kapasiteli dizel motor ve 960 kWh depolama ünitesinden oluşmuştur. Çalışmada önerilen yöntemin yaşam döngüsü simülasyonunun, adada bulunan enerji sisteminin gerçek sistem verileri uyduğu görülmüştür (Zhao ve diğ., 2013).

Uzak bir ada yerleşkesi için batarya depolamalı hibrit güneş-rüzgar enerji sisteminin teknik ve ekonomik analizinin yapıldığı çalışmada; simülasyon ve analiz için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Sistemin optimizasyonu için net bugünkü maliyeti ve birim enerji maliyeti değerlendirilmiştir. Ek olarak fotovoltaik panel ve rüzgar türbini boyutlandırmasının ve batarya kapasitesinin; sistemin güvenilirliği ve ekonomikliği üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Ekonomik analizin doğruluğunu değerlendirmek ve hangi parametrenin optimizasyonda daha büyük etkisi olduğunu görmek için yük tüketimi ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda hassasiyet analizi yapılmıştır. Çalışma sonuçları adadaki mevcut dizel jeneratör sisteminin tamamının hibrit enerji sistemi ile değiştirilebileceğini ve sistemin adanın enerji talebini karşılayabileceğini göstermiştir. Tasarlanan optimum sistem 145 kW fotovoltaik panel, 5,2 kW 2 adet rüzgar türbini, 168 batarya ve 30 kW eviriciden oluşmuştur. İhtiyaç fazlası enerji üretiminin %48,6 oran ile 100883 kWh olduğu hesaplanmıştır. Sistemin birim enerji maliyeti ise 0,595 \$/kWh olmuştur (Ma ve diğ., 2014).

Genetik algoritma tekniği ile Filistin'de şebeke erişimi olmayan bir bölgenin elektrik ihtiyacını karşılamak için hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarlanan çalışmada; simülasyon ve modelleme için MATLAB tabanlı yazılım geliştirilmiştir. Sistemin optimizasyonunda sera gazı emisyonlarının maliyeti dikkate alınmıştır. Çalışmada

yapılan analizler en ekonomik enerji sisteminin; yedek kaynak olarak mikro türbin bulunan fotovoltaik-akü enerji sistemi olduğunu göstermiştir. Mikro türbin; anma yükünde çalıştığı durumda talep edilen ısı yükünü de karşılaması nedeniyle bu sistemde kojenerasyon özelliği ile öne çıkmış ve sistemi ekonomik kılmıştır. Günlük elektrik tüketimi 19 kW pik yük ile ortalama 243 kWh olan bir tüketici profili için yük olasılığı kaybı sıfır olan enerji sistemi; 21,62 kW fotovoltaik sistem ve 25,92 kWh pil ünitesinden oluşmaktadır. 30 kW mikro türbinin yıllık 2692 saat yedek kaynak olarak çalışması gerektiği belirtilmiştir. Bu vaka çalışmasının enerji birim maliyeti 0,295 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Filistin'de konut için şebeke elektriği birim fiyatı 0,19 \$/kWh olması nedeniyle önerilen enerji sisteminin şimdilik şebeke elektriğine erişimi olmayan bölgeler için uygulanabilir olduğu belirtilmiştir (Ismail ve diğ., 2014).

Belirli bir bölgeden alınan saatlik güneş ışınımı ve rüzgar hızı verilerine dayanarak şebeke bağlantılı hibrit güneş-rüzgar enerji sisteminin optimum boyutlandırmasına odaklanılan çalışmada; optimizasyon tekniği olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Kullanılan genetik algoritma talep edilen enerji üretimini sağlarken en az yaşam boyu maliyete sahip sistemin boyutlandırmasını yapabilmektedir. Araştırma sonuçlarına göre şebekeye hibrit güneş-rüzgar enerji sisteminin bağlanması durumunda 25 yıllık servis ömrüne sahip olan sistemin 18 yılda kendini amorti edeceği görülmüştür. Enerji sisteminin ekonomik ve çevresel verileri; şebeke bağlantılı hibrit güneş-rüzgar enerji sisteminin Akdeniz iklim bölgesinde bulunan kırsal bir bölgeye uygulanması durumu için hesaplanmıştır. Sistemin yıllık maliyeti; şebekeden elektrik satın almanın yıllık maliyetinin çok altındadır. Ancak sistemin kurulumu için sistemin yaşam boyu maliyetinin üçte ikisi olan 10 milyon \$ değerinde bir yatırım gerektiği belirtilmiştir (Gonzalez ve diğ., 2015).

Fotovoltaik-akü, fotovoltaik-yakıt hücresi, rüzgar türbini-akü, fotovoltaik-rüzgar türbini, rüzgar türbini-yakıt hücresi, fotovoltaik-yakıt hücresi-akü olmak üzere 6 farklı yenilenebilir enerji sistemini incelendiği çalışmada; şebekeden bağımsız uzak bir tarımsal alanda kurulacak olan sistemler minimum toplam net maliyet ve enerji maliyetine dayalı olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma fotovoltaik-yakıt hücresi sisteminin en uygun senaryo olduğunu göstermiştir. Sistemin optimizasyonu, simülasyonu ve performans analizi HOMER ile yapılmıştır (Rezk ve Dousoky, 2016).

Tahran'daki bir evin elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılacak hibrit sistemlerin ekonomik analizinin yapıldığı çalışmada; değerlendirilen sistem şebekeden bağımsız fotovoltaik-rüzgar-dizel hibrit enerji sistemidir. Dizel jeneratöre hidrojen katkısı ile

çevresel etkilerin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Akünün sisteme eklenmesi ile enerjinin sürekliliği sağlanmıştır. Ekonomik analiz ve optimizasyon için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Araştırmada değerlendirilen kilit faktörler; güneş ışınımı, rüzgar hızı, konutun elektrik tüketim profili, ekipman özellikleri ve hidrojen yakıt maliyeti olarak belirlenmiştir. Günlük elektrik ihtiyacı 17 kWh ve pik yükü 1,5 kW olan bir konut baz alınmıştır. Tasarlanan 5 hibrit enerji sistemi arasında en uygun olan sistemin; rüzgar türbini, dizel jeneratör, akü, evirici ve elektrolizerden oluştuğu görülmüştür. Bu enerji sisteminin toplam net bugünkü değeri 63190 \$ ve birim enerji maliyeti 0,783 \$/kWh olarak hesaplanmıştır (Fazelpour ve diğ., 2016).

İran'ın güneyindeki konut dışı elektrik tüketicisinin elektrik ihtiyacının hibrit dizel-fotovoltaik-rüzgar-akü enerji sistemi ile karşılanmasının araştırıldığı çalışmada sistemin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Vaka çalışması olarak 9911 kWh günlük tüketimi ve 725 kW pik yükü olan konut dışı elektrik tüketicisi belirlenmiştir. Sistemi modellemek, karşılaştırmalı teknik, çevresel ve ekonomik analizlerle optimum tasarımı bulmak için HOMER Pro yazılımı kullanılmıştır. Enerji sistemleri hem şebekeye bağlı hem şebekeden bağımsız olarak modellenmiştir. Yıllık yük artışı, yenilenebilir enerji projelerine sağlanan düşük faizli krediler, karbon vergisi ve şebeke elektriğinin birim fiyatı parametrelerinin sistemin uygulanabilirliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şebekeden bağımsız sistemin yenilenebilir enerji kullanım oranı %0-43,9 ve birim enerji maliyeti 9.3-12.6 ¢/kWh aralıklarında hesaplanmıştır. Şebekeden bağımsız enerji sistemi; 1000 kW fotovoltaik sistem, 600 kW rüzgar türbini ve 1300 kWh aküden oluşmuştur Şebekeye bağlı sistem için; yenilenebilir enerji kullanım oranı %0-53, birim enerji maliyeti ise 5.7-8.4 ¢/kWh aralıklarında hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistem ve rüzgar türbini boyutları şebekeden bağımsız sistem ile aynıdır. Şebekeden bağımsız sisteme batarya eklenmesinin ihtiyaç fazlası enerji üretimini azalttığı, artan yatırım maliyetine karşılık yenilenebilir enerji kullanım oranını arttırdığı görülmüştür. Minimum birim enerji maliyetini sağlayan şebekeye bağlı enerji sisteminin bileşenleri; 1000 kW fotovoltaik sistem, 320 kW evirici, 300 kW rüzgar türbini olarak oluşturulmuştur. Şebeke elektriği fiyatının 0,075 \$/kWh yerine 0,13 \$/kWh olması durumunda makalede incelenen birçok enerji sisteminin ekonomik olarak cazip olacağı belirtilmiştir (Baneshi ve Hadianfard, 2016).

Selangor, Malezya'da bulunan bölgede şebekeden bağımsız hibrit fotovoltaik-rüzgar-dizel-akü enerji sisteminin performans analizinin yapıldığı çalışmada; sistem, günlük ortalama enerji ihtiyacı 33 kWh ve pik yükü 3,9 kW olan topluluk için modellenmiştir. Enerji sisteminin modellenmesi; gerçek zamanlı iklim verileri kullanılarak HOMER

yazılımı ile yapılmıştır. Sistemin net bugünkü maliyet ve emisyon miktarına göre değerlendirilmiştir. Hibrit enerji sisteminin uygulanmasının geleneksel enerji sistemine göre yıllık 16 ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçeceğini ve net bugünkü maliyeti %29,65 oranında düşüreceğini göstermiştir. Tasarlanan optimum enerji sisteminin net bugünkü maliyeti 288194\$ ve birim enerji maliyeti 1,877 \$/kWh olarak hesaplanmıştır (Shezan ve diğ., 2016).

Kavaratti adası için optimum enerji sistemi tasarımının yapıldığı çalışmada; HOMER Pro 6.1 yazılımı kullanılmıştır. Şebekeden bağımsız olarak çalışılan hibrit enerji sisteminin bileşenleri; rüzgar türbini, fotovoltaik sistem ve akü olarak belirlenmiştir. Enerji sisteminin optimizasyonunda minimum birim enerji maliyeti ve toplam net bugünkü değer dikkate alınmıştır. Enerji sisteminin uzun vadeli simülasyonu HOMER yazılımında oluşturulmuştur. Hibrit enerji sisteminin; rüzgar türbini, fotovoltaik sistemi ve depolama üniteleri HOMER yazılımında modellenmiştir. Farklı talep profilleri oluşturularak yük analizi yapmak için DigSILENT yazılımı kullanılmıştır. Bu sayede hibrit yenilenebilir enerji sisteminin bileşenlerinin optimizasyonu daha yüksek doğruluk ile çalışılmıştır. Adanın tüketici profili 2010 yılının tüketim verileri ile oluşturulmuştur. Enerji sisteminin boyutlandırılması; 1870 kW pik yük ile 29333,57 kWh yıllık tüketime göre yapılmıştır. Analiz sonucuna göre oluşturulan optimum enerji sisteminin birim enerji maliyeti 0,10995 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Enerji sisteminin toplam net bugünkü maliyeti 15039701 \$ olarak hesaplanmıştır (Singh ve diğ., 2017).

Elektrik ihtiyacının hibrit yenilenebilir enerji sistemi ile karşılanmasının teknolojik ve ekonomik analizinin yapıldığı çalışma; Kırklareli Üniversitesi'nin Kavaklı kampüsünde yer alan merkez kütüphanesi için yapılmıştır. Kütüphane için tasarlanan hibrit enerji sistemleri; şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak modellenmiştir. Karşılaştırılan sistemlerin modellenmesi için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Optimum şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sistemi; 40 kW fotovoltaik sistem, 10 kW rüzgar türbini ve 72 depolama ünitesinden oluşmuştur. Bu sistemin birim enerji maliyeti 0,334 \$/kWh ve net bugünkü değeri 2283380 \$ olmuştur. Optimum şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir enerji sistemini; 30 kW rüzgar türbini ve 100 kW şebeke bağlantısından oluşmuştur. Bu sistemin birim enerji maliyeti 0,185 \$/kWh ve net bugünkü değeri 137979\$ olmuştur. Şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir enerji sisteminin ekonomik olarak daha avantajlı olsa da emisyon değerleri ve diğer çevresel faktörler göz önüne alındığında şebekeden bağımsız hibrit yenilenebilir enerji sisteminin kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Dursun ve Altay, 2018).

Çimento fabrikasında; şebekeye hibrit fotovoltaik-rüzgar-akü enerji sisteminin bağlanması değerlendirildiği çalışmada vaka çalışması Ürdün'deki bir fabrika için yapılmıştır. Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin şebekeye bağlantısı ile oluşacak yeni sistemde üretilen elektriğin birim fiyatının, şebeke elektriğinin birim fiyatından daha düşük olması ve sistemin yenilenebilir enerji kullanım oranının maksimum olması hedeflenmiştir. Enerji depolama birimi olarak lityum-iyon akü kullanan sistemin, enerji depolama birimi olmayan sistemden daha düşük elektrik birim fiyatına sahip olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca enerji depolama biriminin kullanılmasıyla şebeke bağlantılı hibrit yenilenebilir enerji sisteminin, yenilenebilir enerji kullanımının arttığı görülmüştür. Optimum hibrit enerji sistemi; 20,75 MW fotovoltaik panel, 26 MW rüzgar türbini ve 16,8 MWh lityum-iyon depolama ünitesinden oluşmaktadır. Bu hibrit yenilenebilir enerji sisteminin şebekeye bağlanmasıyla; yenilenebilir enerji kullanım oranı %62,53 olmuştur. Önerilen sistemin geri ödeme süresi 3,44 yıl ve net bugünkü maliyeti 206,63 milyon \$ olarak hesaplanmıştır. Bu sistemin fabrikaya entegre edilmesiyle işletmenin enerji faturasında yıllık 21,58 milyon \$; karbondioksit emisyonunda ise yıllık 71373 ton azalma olacağı hesaplanmıştır (Al-Ghussian ve diğ., 2018).

Bir konutun elektrik ihtiyacının hibrit yenilenebilir enerji sistemi ile karşılanmasının değerlendirildiği çalışmada; enerji sisteminin optimizasyonu ekonomik ve ekolojik kriterlere dayalı olarak yapılmıştır. Yapılan ekonomik ve çevresel analizler; net bugünkü değer yöntemi ve karbon emisyon değerleri arasındaki ilişkiyi kapsamaktadır. Enerji sisteminin bileşenleri; fotovoltaik sistem, rüzgar türbini ve enerji depolama üniteleri olarak belirlenmiştir. Deneysel ölçümlerle belirlenen elektrik tüketim miktarı, yerel güneş ışınımı, rüzgar hızı ve diğer çevresel parametreler kullanılarak enerji sisteminin dinamik bir simülasyonu oluşturulmuştur. Simülasyon oluşturulurken ekonomik optimizasyon kriteri ve çevresel optimizasyon kriteri göz önüne alınmıştır. Seçilen bölgenin düşük rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Düşük rüzgar enerjisi hibrit yenilenebilir enerji sisteminin performansını olumsuz etkilemiştir. Seçilen bölge için fotovoltaik sistemin daha iyi bir alternatif olduğu görülmüştür. Şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinin güvenilirliği sağlanarak; ekonomik ve çevresel optimizasyon kriterleri ile verilen koşullar altında en uygun sistem tasarımını oluşturmanın mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Jaszczur ve diğ., 2019).

Tarım işçilerinin konutlarını kapsayan bölgede bulunan güç ağının yetersiz ve tehlikeli olması nedeniyle şebekeden bağımsız hibrit rüzgar-güneş enerji üretim ve dağıtım



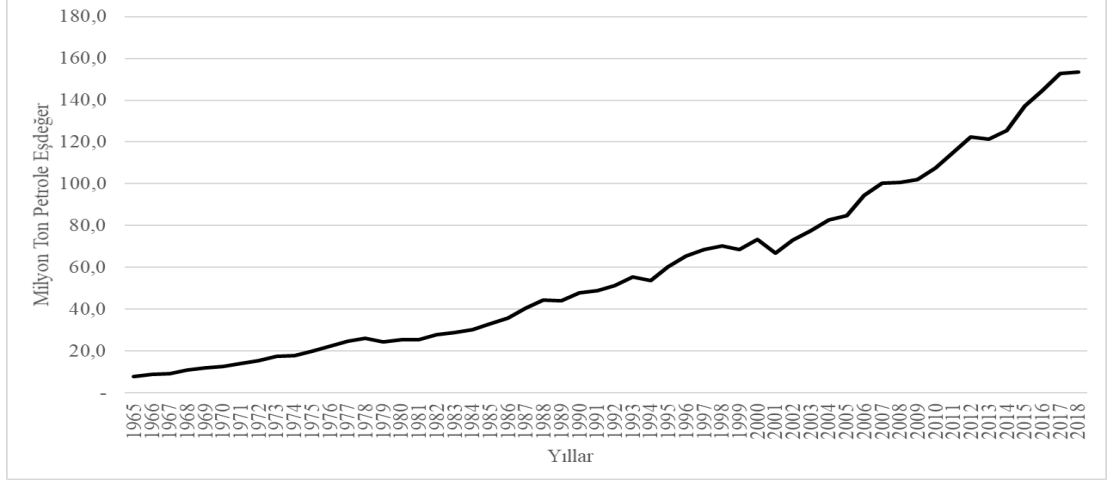
ağının tasarlandığı çalışma Kamerun'da yapılmıştır. Toplam gücü 0,501 MW olan ve bölgede bulunan 120 konutun elektrik ihtiyacını minimum sistem kaybıyla karşılayacak bir hibri rüzgar-güneş enerji sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin; bölgenin elektrik ihtiyacını güvenli bir şekilde karşılayabilecek en uygulanabilir ve çevre dostu sistem olduğu belirtilmiştir. Önerilen sistemin benimsenmesi ve iyi uygulanması durumunda; yeterli yenilenebilir enerji kaynağına sahip Kamerun'da büyük fırsatlar sunması beklendiği belirtilmiştir (Iweh ve Marius, 2019).

Bir devlet lisesinin elektrik ihtiyacının karşılanması için hibrit yenilenebilir enerji sisteminin fizibilitesinin yapıldığı çalışmada; binanın yıllık elektrik ihtiyacı, maksimum ve minimum enerji talebi olan aylar tespit edilerek bir tüketici profili oluşturulmuştur. Hesaplamalar için HOMER yazılımı kullanılmıştır. 36 kW rüzgar türbini ve 23 kW güneş panelinden oluşan şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir enerji sisteminin en uygun çözümü verdiği tespit edilmiştir. Enerji sisteminin binaya entegre edilmesiyle sadece aralık ayında şebekeden elektrik satın alınacağı, diğer aylarda şebekeye elektrik satışı olacağı tespit edilmiştir. Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin geri ödeme süresi 7,8 yıl olarak hesaplanmıştır (Mamur ve diğ., 2019).

Literatürde bu tez çalışmasında değerlendirilen benzer hibrit güneş-rüzgar enerji sistemleri farklı iklim bölgelerinde ve veya farklı tüketici profilleri için çalışılmıştır. Bu çalışmada elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması değerlendirilen konut tipi elektrik tüketicisi için; literatürde farklı enerji sistemleri değerlendirilmiştir. Bu bilgiler ışığında bu tez çalışmasının literatürde; Aydın ili ve benzer iklim özelliklerini gösteren bölgeler için konutlara yenilenebilir hibrit rüzgar- güneş enerji sistemi entegre edilmesi hakkında, ekonomik ve çevresel kriterler değerlendirilerek bir model oluşturması hedeflenmiştir.

## **1.2. Çalışmanın Amacı**

Dünyada artan elektrik enerjisi tüketimi; tüm dünya ülkelerinde aynı eğilimdedir. Türkiye'nin 1965 ve 2018 yılları arasındaki birincil enerji tüketimi Şekil 1.1'de gösterilmiştir (TÜİK, 20119).

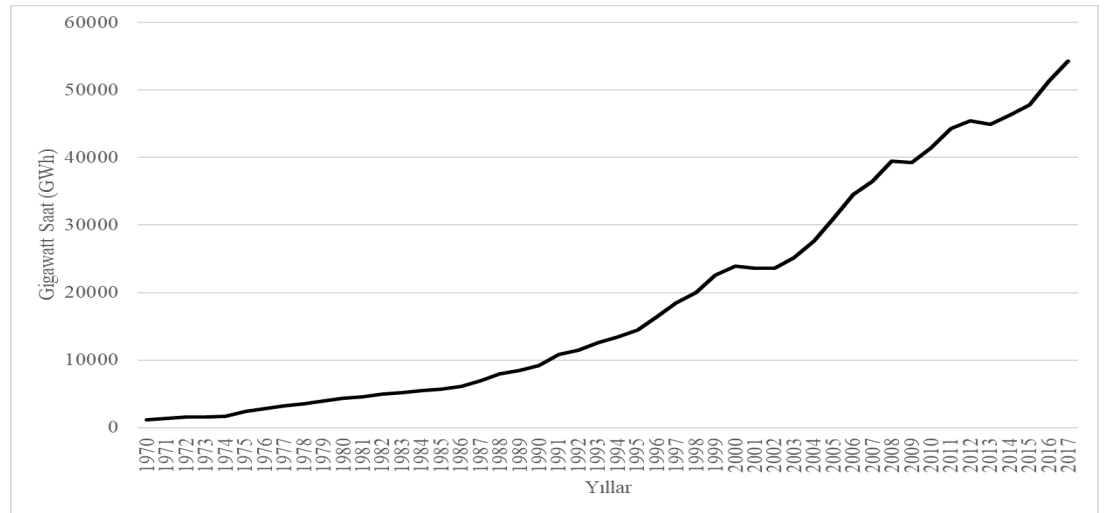


Şekil 1.1. Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin yıllara göre değişimi

2018 yılında Türkiye'de faturalandırılan elektrik tüketimi 303300 GWh olarak tespit edilmiştir. Tüketilen elektriğin %37,16'sı kömürden, %30,34'ü doğalgazdan, %19,66'sı hidroelektrik santrallerden, %12,73'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından, %0,11'i sıvı yakıtlardan üretilmiştir (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, 2018).

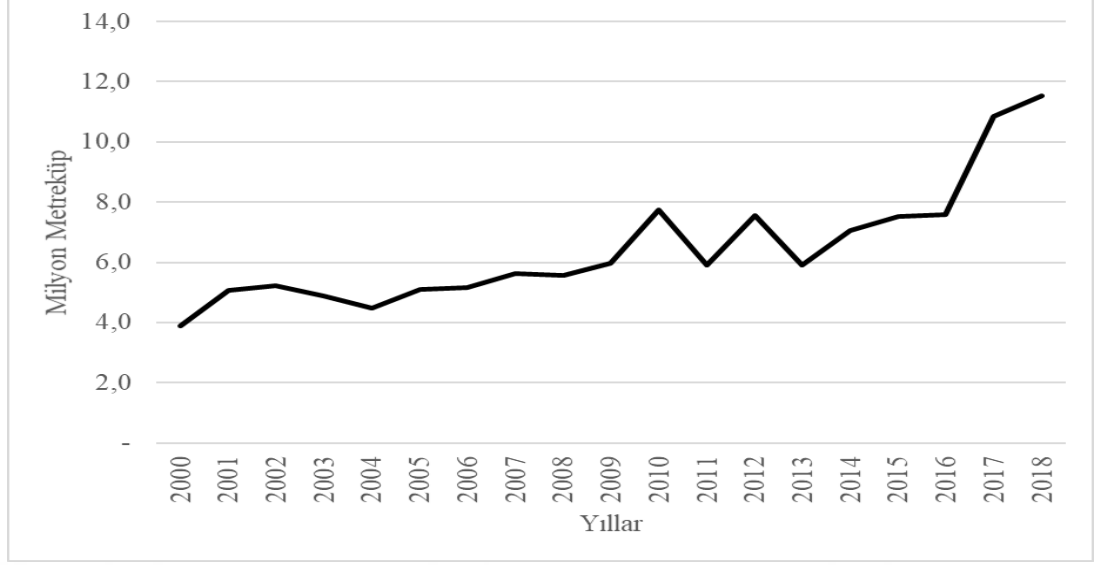
Türkiye'de faturalandırılan elektrik enerjisinin %41,52'si sanayide, %29,23'ü ticarethanelerde, %23,45'i meskenlerde, %3,77'si tarımsal sulamada ve %2,04'ü çevre aydınlatmasında tüketilmiştir (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2019a).

Şekil 1.2'de konutlarının elektrik tüketim miktarının 1970 ve 2017 yılları arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Türkiye'de konutların elektrik tüketiminin yıllara göre değişimi

Her sene artan tüketim miktarına sahip olan konutların 2017 yılında tüketim miktarı 54286,93 GWh değerine ulaşmıştır (TÜİK).



Şekil 1.3. Türkiye'nin ithal ettiği doğalgaz miktarının yıllara göre değişimi

2000 ile 2018 yılları arasında ithal edilen doğalgaz miktarının yıllara göre değişiminin gösterildiği Şekil 1.3'te; doğalgaz ithalatının zamanla arttığı görülmektedir.

Enerjide dışa bağımlı olan Türkiye'de; en fazla elektrik tüketen üçüncü tüketici tipi konutlardır. Bu nedenle konutların elektrik tüketiminin şebeke yerine yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

### 1.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu tez çalışmasının coğrafi bölge olarak kapsamı Aydın ilidir. Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi potansiyeli açısından benzerlik gösteren başka coğrafi bölgeler için de uygulanabilir veriler içermektedir.

Çalışmada; şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji sistemlerine ait verileri içermektedir. Karşılaştırılan enerji sistemlerinin hepsi şebeke bağlantılı ve yenilenebilir kaynak kullanan sistemlerdir.

Çalışma konut tipi elektrik tüketicileri için genellenebilir veriler içermektedir. Türkiye sınırları içerisinde mesken tarifesinde tek zamanlı şebeke elektriği kullanıcıları, bu çalışmada elektrik enerjisi talebi olan kesim olarak belirlenmiştir.

Elektrik enerjisi ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmasının değerlendirildiği bu çalışma; şebeke elektriğine yenilenebilir enerji sisteminin entegre edilebileceği altyapının olması durumunda uygulanabilir.

Değerlendirilen yenilenebilir enerji sistemleri; ekonomik ve çevresel parametreler açısından karşılaştırılmıştır. Oluşturulan yenilenebilir enerji sistemlerinin karşılaştırma kriterleri; birim enerji maliyeti, geri ödeme süresi, emisyon miktarı ve yenilenebilir enerji kullanım oranı belirlenmiştir.

Çalışmada sunulan veriler; benzer yenilenebilir enerji potansiyeline sahip bölgelerde, konut tipi elektrik tüketicisinin elektrik ihtiyacını karşılamak için aynı değerlendirme kriterlerinin kullanıldığı, şebeke bağlantısı olan yenilenebilir enerji sistemleri için örnek oluşturmaktadır.



## 2. DÜNYADA ENERJİ

### 2.1. Dünyanın Enerji Görünümü

Enerji; günlük hayatın vazgeçilmezi ve ülkelerin gelişmişlikleri açısından belirleyici olan sanayi sektörünün de kaynağıdır. Bu nedenle bütün ülkeler için enerji; izlenen politikalar üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

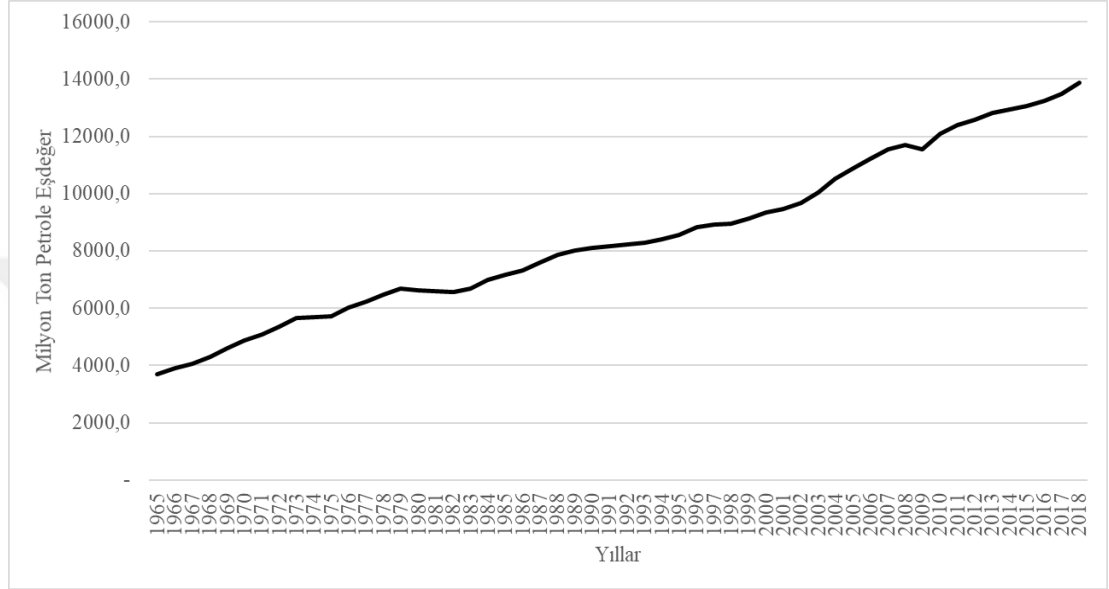
Dünyada enerji üretimi için yaygın olarak kullanılan kaynaklar; petrol, doğalgaz, kömür, nükleer enerji, hidroelektrik, yenilenebilir enerji olarak sıralanmaktadır. Coğrafi ve iklimsel farklılıklar nedeniyle her bölgede farklı üretim payına sahip olan bu enerji kaynakları bazı ülkelerin enerji ithalatçısı olmasını ve bu sayede ekonomik ve siyasi güç olmasını sağlarken; bazı ülkelerin dışa bağımlılığına neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasında; ülkeler buldukları coğrafyaya göre sınıflandırılmıştır. Kuzey Amerika ülkeleri; Kanada, Meksika ve Amerika Birleşik Devletleridir. Orta ve Güney Amerika ülkeleri; Arjantin, Brezilya, Şili, Kolombiya, Ekvador, Peru, Trinidad & Tobago, Venezüella, diğer Orta Amerika, Güney Amerika ve Karayip ülkeleridir. Avrupa ülkeleri; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Hollanda, Kuzey Makedonya, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye, Ukrayna, İngiltere ve diğer Avrupa ülkeleridir. Bağımsız devletler; Azerbaycan, Belarus, Kazakistan, Rusya, Türkmenistan, Özbekistan ve Sovyetler Birliğinin dağılmasıyla bağımsızlığını ilan eden diğer ülkelerdir. Ortadoğu ülkeleri; İran, Irak, İsrail, Kuveyt, Umman, Katar, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri ve diğer Ortadoğu ülkeleridir. Afrika ülkeleri; Cezayir, Mısır, Fas, Güney Afrika, Doğu Afrika, Orta Afrika, Batı Afrika, diğer kuzey Afrika ve güney Afrika ülkeleridir. Asya Pasifik ülkeleri; Avustralya, Bangladeş, Çin, Hong Kong-Çin Özel İdari Bölgesi, Hindistan, Endonezya, Japonya, Malezya, Yeni Zelanda, Pakistan, Filipinler, Singapur, Güney Kore, Sri Lanka, Tayvan, Tayland, Vietnam ve diğer Asya Pasifik ülkeleridir.

Dünyada 2018 yılında birincil enerji tüketimi 166.378.800 GWh değerine ulaşmıştır. En fazla enerji tüketimi 39.282.000 GWh ile Çin'dedir. İkinci sırada yer alan Amerika

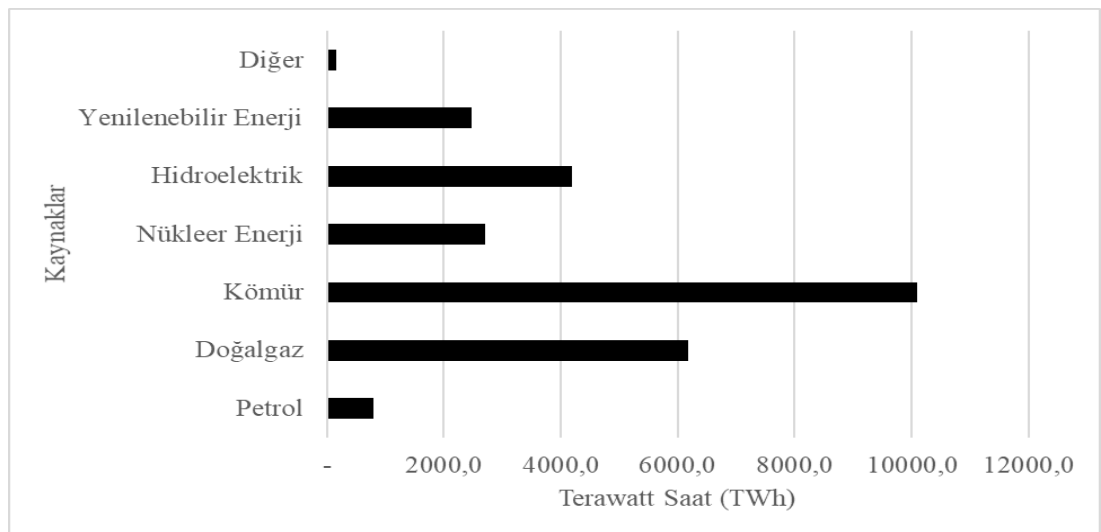
Birleşik Devletleri; 27.607.200 GWh enerji tüketmiştir. Türkiye'nin aynı yılda enerji tüketimi; 1.842.000 GWh olmuştur (BP P.L.C., 2019).

Şekil 2.1'de verilen grafik 1965 ve 2018 yılları arasında dünyanın birincil enerji tüketiminin değişimini göstermektedir. Dünyanın birincil enerji tüketimi; Asya Pasifik ülkelerindeki artışın da etkisiyle her geçen sene daha da artmaktadır.



Şekil 2.1. Dünyanın birincil enerji tüketiminin yıllara göre değişimi

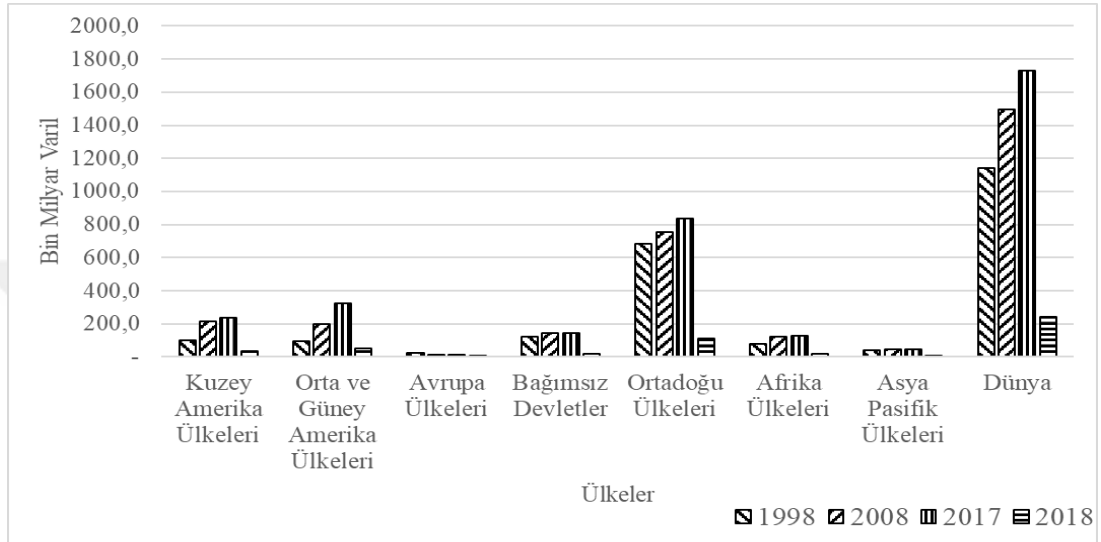
2018 yılında tüketilen elektriğin yalnızca %4'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmiştir.2017 yılında ise yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik; toplam tüketimin sadece %3,6sına denk gelmiştir (URL-2). 2018 yılında dünya genelinde elektrik üretimi için kullanılan kaynakların dağılımı Şekil.2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 2018 yılında dünyanın elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

## 2.2. Petrol

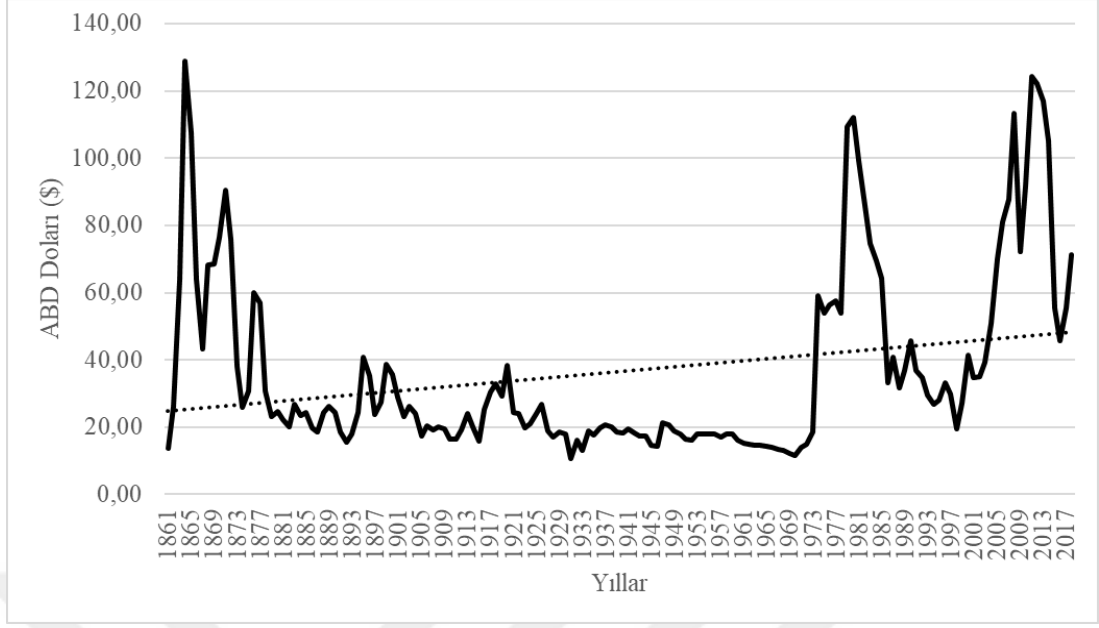
Günümüzde dünyanın en çok kullanılan yakıtı olan petrol; toprak altında bulunan organik bileşiklerin bir karışımıdır. Dünyanın ilk petrol kuyusu 1859 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde açıldıktan sonra sanayinin de hızla gelişmesiyle; petrol oldukça değerli bir enerji kaynağı haline gelmiştir (URL-3).



Şekil 2.3. Kanıtlanmış petrol rezervlerinin yıllara göre değişimi

Şekil 2.3'te ülkelerin petrol rezervlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Fosil yakıtlar yeryüzüne eşit olarak dağılmadığı için dünyada bazı bölgeler fosil yakıt bakımından zenginken; bazı ülkeler oldukça fakirdir. Dünyada yaygın olarak kullanılan petrol; bu nedenle birçok ülkenin dışa bağımlı olduğu bir enerji kaynağıdır. Ortadoğu ülkeleri petrol rezervleri açısından oldukça zenginken; Asya Pasifik ülkeleri ve Avrupa ülkeleri çok daha az petrol rezervine sahiptir. Ortadoğu ülkeleri bu nedenle petrol ithalatında çok büyük bir paya sahiptir (URL-2).

Şekil 2.4'te ham petrolün varil fiyatı; Amerikan dolarının 2018 yılındaki değeri cinsinden verilmiştir. Ham petrolün varil fiyatında; dönemsel düşüşler olsa da düzenli bir artış eğilimi olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4. Ham petrol varil fiyatlarının yıllara göre değişimi

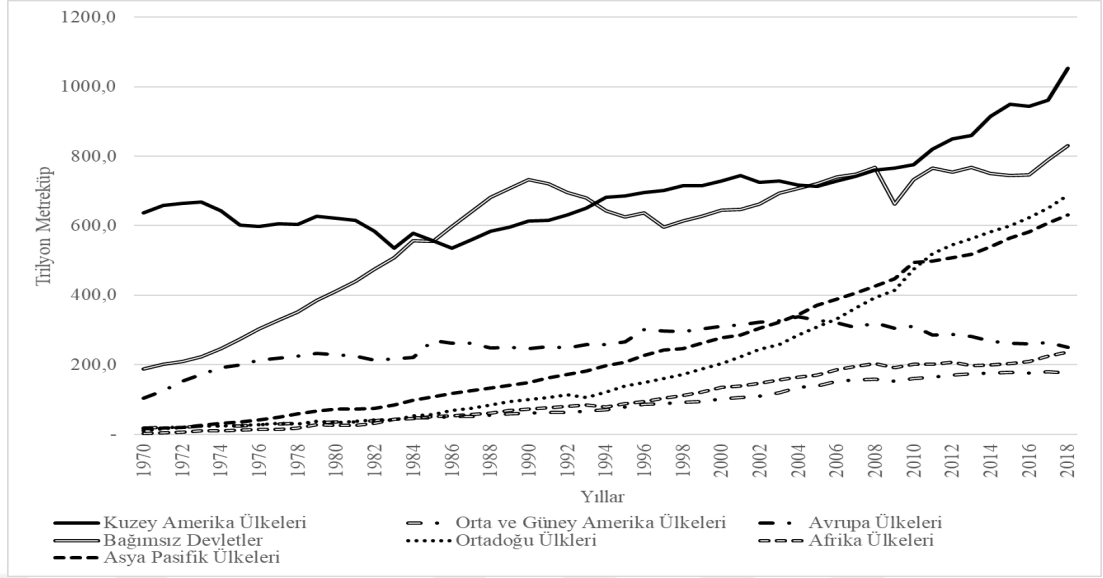
### 2.3. Doğalgaz

Organik bileşiklerden oluşan doğalgaz; yer altındaki boşluklarda veya petrol yataklarının üzerinde gaz formunda ve büyük hacimlerde bulunur. %70-95 oranında metandan oluşan doğalgazın, basit kimyasal yapısı nedeniyle yanması kolaydır ve en yüksek yanma verimliliğine sahip olan gazdır. Doğalgazın yaygın kullanımı 1790'lı yıllarda, İngiltere'de başladı ve boru hatlarının inşası ile giderek yayıldı. Enerji üretimi alanından doğalgaz ilk kez Amerika'da kullanılmıştır (URL-4).

Enerji üretimi için petrolden sonra en çok kabul gören yakıt olan doğalgazın; rezerv miktarı ve coğrafi yoğunluğu, kullanım alanları, üretim ve tüketim miktarları petrolle paralellik gösterdiği için, doğalgazın da birim fiyatı artış eğilimindedir.

Şekil 2.5'te ülkelerin doğalgaz üretiminin yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Son 30 yılın verileri değerlendirildiği zaman; en yüksek doğalgaz üretimi yıllık yaklaşık 497 milyon ton petrole eşdeğer üretim ile Türkiye'nin en büyük doğalgaz ithalatçısı olan Rusya'dadır (URL-2).





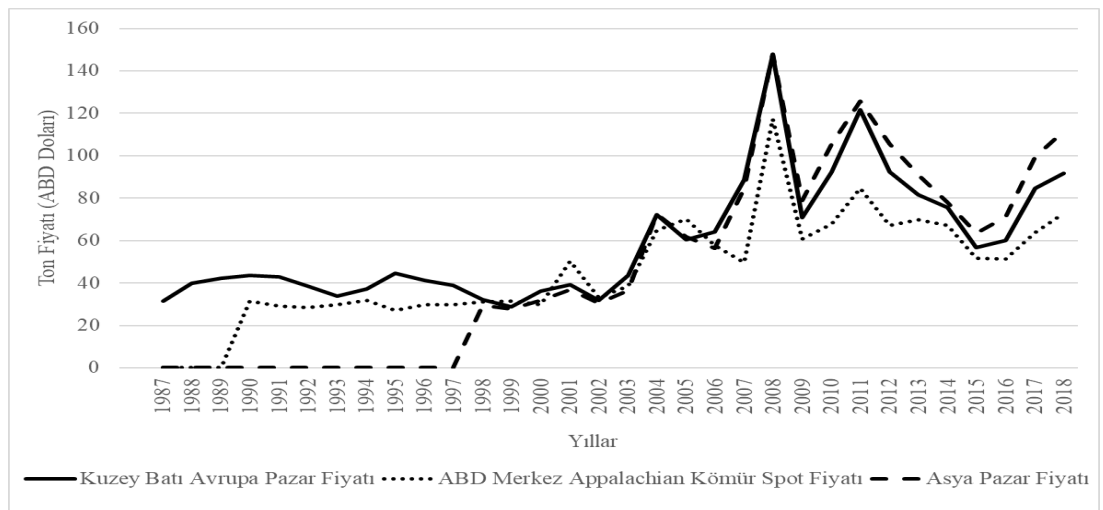
Şekil 2.5. Doğalgaz üretiminin yıllara göre değişimi

## 2.4. Kömür

Kömür; organik maddelerin ayrışması ve kimyasal dönüşüme uğraması ile oluşan, karbon ve yanıcı gazlar bakımından zengin bir kayadır. Dünyada yaygın olarak bulunan kömüre; yeryüzünün farklı derinliklerinden rastlanır (URL-5).

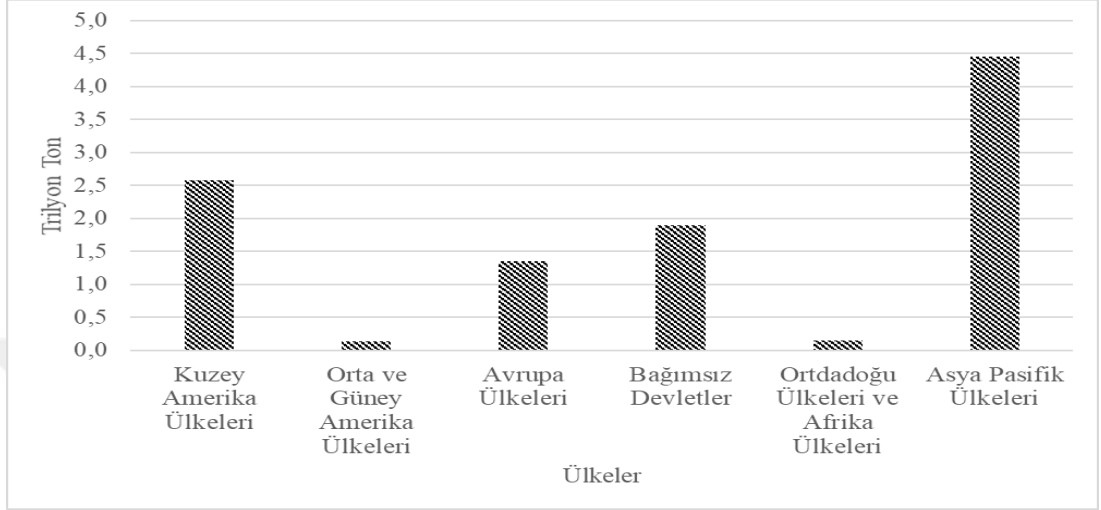
Oluşumu için gereken süreler göre farklı çeşitleri olan kömür; elektrik üretiminde, demir-çelik ve çimento üretiminde, endüstriyel süreçlerde buhar ve ısı elde etmek için kullanılmaktadır.

Şekil 2.6'da verilen kömürün ton fiyatı, farklı pazarlarda farklı fiyatlar almaktadır. Ancak kömür de diğer fosil kaynaklar gibi artan birim fiyata sahiptir.



Şekil 2.6. Kömürün ton fiyatının yıllara göre değişimi

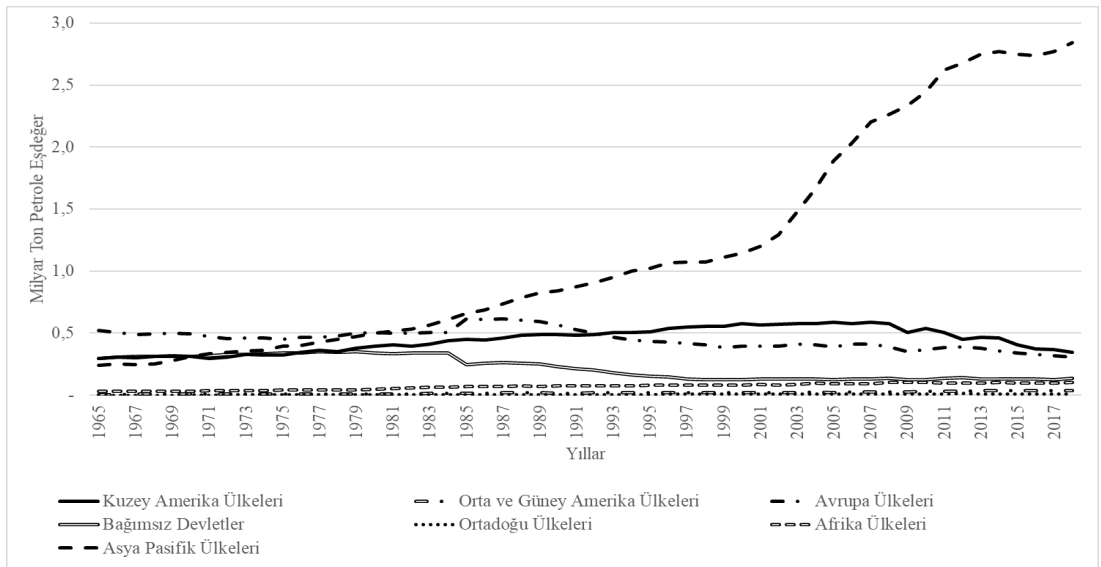
Şekil 2.7'de kanıtlanmış kömür rezervlerinin 2018 yılında ülkelere göre dağılımı gösterilmiştir. Kömür rezervleri açısından en zengin ülkeler Asya Pasifik ülkeleridir. 2018 yılı verilerine göre dünyadaki kömür rezervlerinin %42'si bu bölgede bulunmaktadır (URL-2).



Şekil 2.7. 2018 yılında kanıtlanmış kömür rezervlerinin ülkelere göre dağılımı

Kömürlü termik santrallerin emisyon değerleri, atık bertarafı için kullandığı toprak alanının fazla olması, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri bilinse de kömür hala dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 2.8'de kömür tüketiminin yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Kömür rezervlerinin %42'sine sahip olan Asya Pasifik ülkelerinin kömür tüketimi diğer ülkelerin aksine, özellikle 2000 yılından sonra ciddi bir artış göstermiştir.

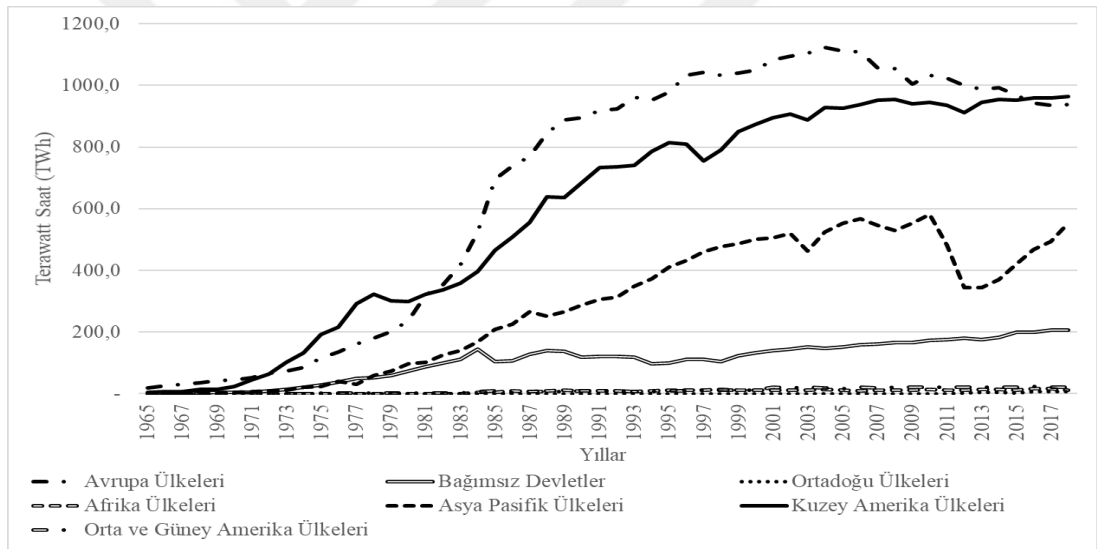


Şekil 2.8. Ülkelerin kömür tüketiminin yıllara göre değişimi

## 2.5. Nükleer Enerji

Atom çekirdeğinin parçalanmasından elde edilen nükleer enerji; çoğu teknolojik gelişme gibi önce askeri alanda çalışılmış ve daha sonra ticari olarak değerlendirilmiştir. Dünyadaki ilk nükleer santral 1954 yılında işletmeye alınan Sovyetler Birliğinde bulunan Obninsk Nükleer Enerji Santrali'dir. 1970li yıllarda yaşanan petrol krizi nedeniyle yaygınlaşan nükleer santraller; buldukları ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını büyük ölçüde azaltırken, büyük facialara da neden olmuşlardır.

Şekil 2.9'da ülkelerin nükleer enerji üretiminin yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Nükleer enerjiden elektrik üretiminde uzun yıllar en fazla üretim Avrupa ülkelerinde gerçekleşmiştir. Ancak son yıllarda Kuzey Amerika ülkeleri nükleer enerjiden elektrik üretiminde az farkla Avrupa ülkelerinin önüne geçmişlerdir.



Şekil 2.9. Ülkelerin nükleer enerji üretiminin yıllara göre değişimi

Nükleer enerji, diğer enerji kaynaklarından pek çok bakımdan üstündür. Nükleer enerji santrallerinde elektrik üretimi kesintisizdir ve nükleer santraller düşük birim fiyata sahip elektrik üretirler. Yüksek verimle çalışan nükleer santraller birçok enerji santralinden daha az alan kullanırlar ve sera gazı üretmezler.

Nükleer enerjinin sahip olduğu avantajlara karşılık ciddi dezavantajları vardır. Nükleer atıkların radyoaktif özelliklerini kaybetmesi için gereken süre 29 yıl ile 213000 yıl arasında değişmektedir (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2010). Bu nedenle atık bertaraf yöntemleri kritik bir öneme sahiptir ve yüksek maliyetlidir. Nükleer santrallerde meydana gelebilecek ufak bir sızıntı ve kaza; insan sağlığı ve doğa için

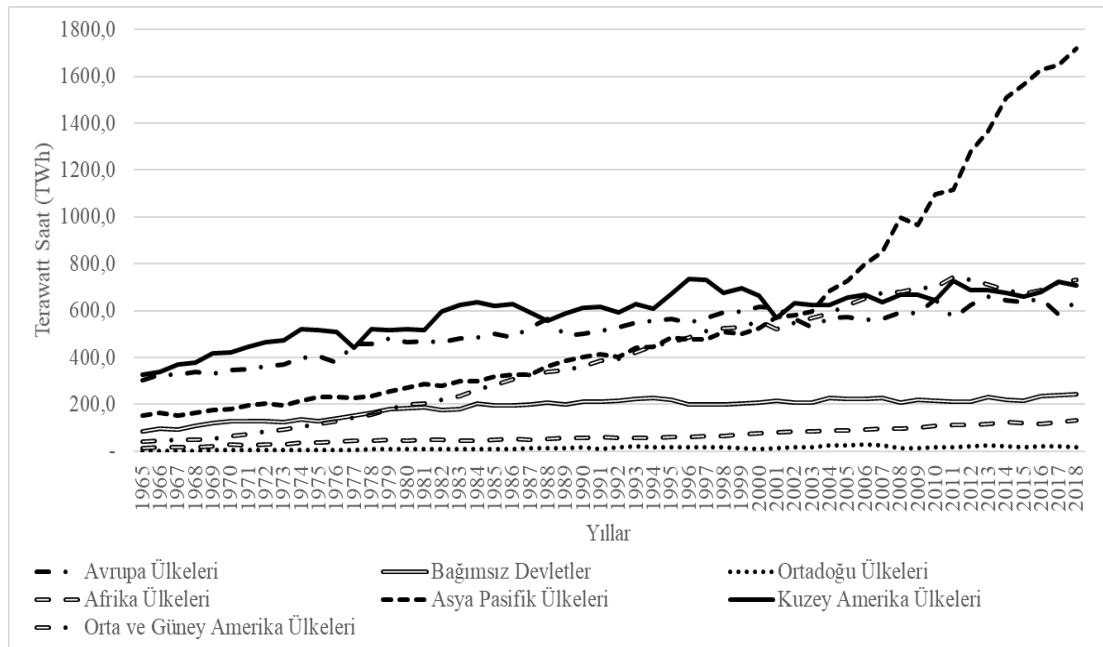
büyük tehdit oluşturur. Bu yüzden nükleer santrallerin projelendirilmesi ve inşaatında; diğer üstyapı inşaatlarından daha yüksek güvenlik katsayıları kullanılır. Nükleer santrallerin işletilmesinde yüksek güvenlik önlemleri alınmaktadır. Santrallerde kullanılan soğutma suyu; bölgedeki göl veya denizlerden sağlanır. Reaktör çekirdeğinden geçen soğutma suyunun sıcaklığı yükselmiş bir şekilde kaynağa geri verilmesi; su sıcaklığına karşı oldukça hassas olan hayvanların yaşamı üzerinde yıkıcı etkilere sahiptir.

Yüksek üretim verimine ve düşük enerji birim maliyetine sahip olan nükleer santrallerin enerji kaynağı; fosil kaynaklar gibi sınırlıdır (URL-5).

## 2.6. Hidroelektrik

Hidroelektrik santraller akan suyun gücünü elektriğe dönüştürürler. Kanal ya da boruların içine alınan su; türbin pervanelerinin dönmesini sağlayarak türbinlerin bağlı olduğu jeneratörlerin elektrik enerjisi üretmesini sağlarlar (URL-5).

Şekil 2.10'da ülkelerin hidroelektrik santrallerden ürettiği elektrik miktarının yıllara göre değişimi verilmiştir. Asya Pasifik ülkelerinin artan hidroelektrik üretimine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 2.10. Ülkelerin hidroelektrik santrallerden ürettiği elektrik miktarının yıllara göre değişimi

Hidroelektrik santrallerin inşaatı çok pahalıdır. İnşaatları süresince vahşi hayata ve doğal kaynaklara zarar veren hidroelektrik santraller; işletmeye alındıklarında bazı bölgelerin sular altında kalmasına neden olurlar (URL-5).

Enerjinin üretim kaynağı su olduğu için hidroelektrik santrallerden üretilen elektriğin birim fiyatı oldukça düşüktür. Hidroelektrik santraller; fosil yakıt kullanan enerji santralleri gibi hava kirliliğine neden olmazlar ve kuruldukları bölgede istihdam sağlarlar (URL-5).

## **2.7. Yenilenebilir Enerji**

Yenilenebilir enerji kaynakları; kalıcı olarak tüketilmesi mümkün olmayan ve tüketildiği hızda veya tüketildiği hızdan daha çabuk kendini yenileyebilen kaynaklar olarak tanımlanır.

Yenilenebilir kaynaklar, fosil kaynaklar karşısında birçok avantaja sahiptir. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin neden olduğu emisyonun büyük bir kısmı; bu sistem bileşenlerinin üretimi esnasında gerçekleşmektedir. Ancak fosil kaynaklardan enerji üretimi; tüm süreç boyunca ciddi emisyonlara neden olmaktadır. Fosil kaynakların üretilmesi, iletilmesi ve tüketilmesi çevresel olarak yıkıcı süreçlerdir. Fosil enerji kaynaklarının neden olduğu emisyonlar iklim değişikliğine, hava kalitesinin bozulmasına, toprağın ve diğer doğal kaynakların kirlenmesine neden olmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının neden olduğu bu kapsamlı kirlilik; canlı çeşitliliği, insan sağlığı ve çevre sağlığı üzerinde yıkıcı etkilere sahiptir. Buna karşılık yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin emisyon değerleri; oldukça düşük ve bazen sıfır mertebelerindedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları dünyada sınırsız olarak bulunurlar. Fosil kaynakların ise dünyadaki rezervleri her geçen gün azalmaktadır ve yeniden oluşması için milyonlarca yıla ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle fosil enerji kaynaklarının fiyatları artış eğilimindedir ve fosil kaynaklardan elde edilen enerjinin birim fiyatı da buna paralel olarak zamanla artmaktadır. Oysa yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenmesi veya artan üretim talebi karşısında azalması söz konusu değildir. Nispeten yeni bir teknoloji olduğu için bazı koşullar altında yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi pahalı bir seçenek olmaktadır. Ancak yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesi ve yaygınlaşması sayesinde yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin birim fiyatı da zamanla azalmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları dünyanın her yerinde farklı biçimlerde bulunur. Bazı bölgeler iklimsel olarak güneş enerjisi için oldukça verimliyken bazı bölgeler jeolojik yapısı sayesinde jeotermal enerji için elverişli olabilir. Fosil enerji kaynakları belirli bölgelerde yer alan rezervleri nedeniyle bazı ülkelerin enerjide dışa bağımlı olmasına neden olmaktadır. Enerjide dışa bağımlılık; ülke ekonomisi ve ülkelerin dış politikada izledikleri siyaset üzerinde oldukça etkindir. Enerji kaynaklarına sahip olmak için verilen savaşlara yakın tarihte de rastlamak mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynakları her bölgede doğal olarak bulunduğu için enerjide dışa bağımlılığı azaltmaya katkı sağlamaktadırlar.

Fosil kaynaklardan enerji üreten santrallerin işletme süresi boyunca azımsanmayacak bir bakım ve onarım maliyeti vardır. Ancak yenilenebilir kaynaklardan enerji üreten sistemlerin bakım ve onarım maliyeti oldukça düşüktür.

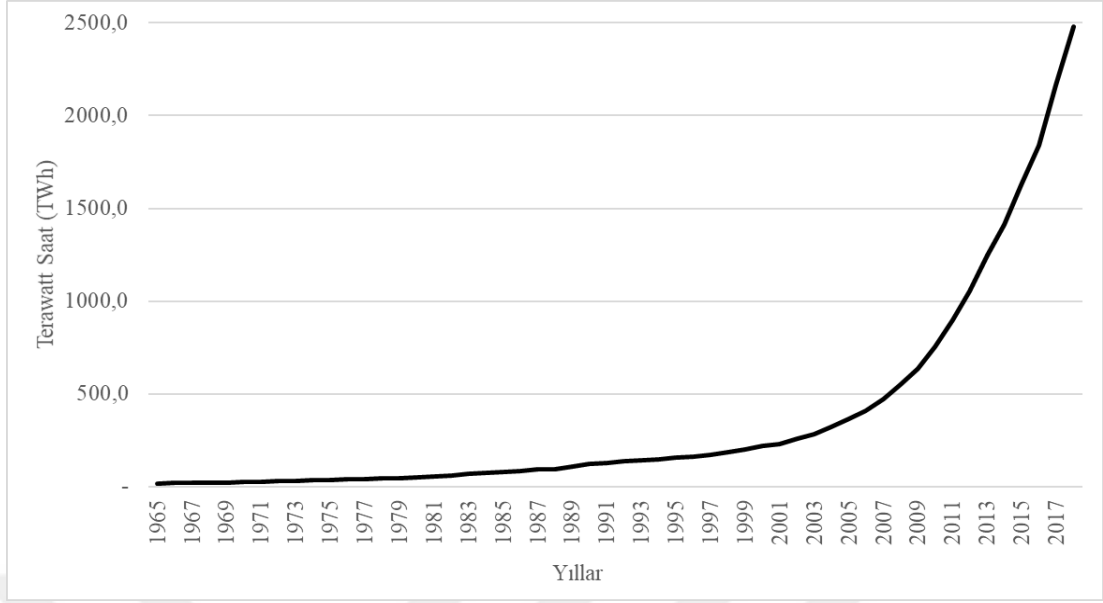
Elektrik altyapısına sahip olmayan uzak kırsal bölgelere elektriğin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması zamanla yaygınlaşan bir çözümdür. Şebeke altyapısının devam ettirilerek kırsal bölgelere elektrik sağlanması her zaman ekonomik olmamaktadır. Bu gibi durumlarda yerinde üretim ve yerinde tüketim imkanı sunan yenilenebilir kaynaklardan enerji üreten sistemler uygulanabilirliği olan bir seçenek olmaktadır.

Fosil kaynaklar karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarının dezavantajları da mevcut olduğu için hala yenilenebilir enerji kaynakları, fosil enerji kaynakları kadar yaygın kullanılan bir üretim kaynağı değildir.

Yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi; atmosfer koşullarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle kesintisiz enerji üretimi konusunda fosil enerji kaynakları gibi bir performans sergileyememektedirler.

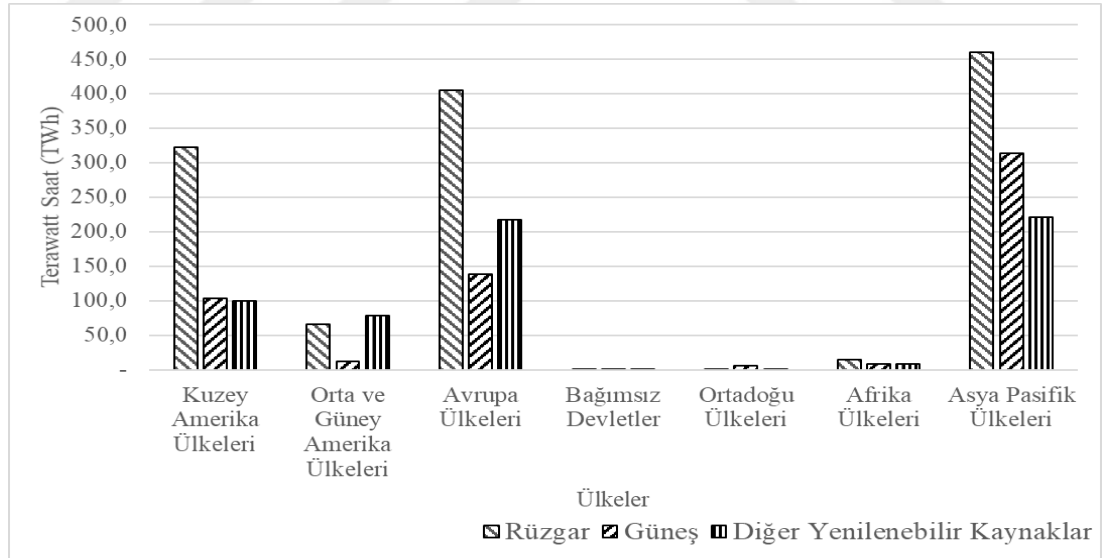
Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi yapan sistemlerin verimleri; fosil kaynaklardan üretim yapan sistemlerin verimi karşısında oldukça düşüktür. Yenilenebilir enerji sistemleri ve fosil enerji sistemleri arasındaki bu verim farkı yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesiyle zamanla azalacak olsa da mevcut durumda etkin bir dezavantajdır.

Teknolojik gelişmelerle yaygınlaşan yenilenebilir enerji sistemleri sayesinde yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji miktarı her geçen sene artmaktadır. Bu artış Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11. Dünyada yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerjinin yıllara göre değişimi

Yenilenebilir kaynaklardan 2018 yılında üretilen elektriğin; ülkelere ve yenilenebilir kaynak çeşidine göre miktarı Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en fazla elektrik üreten ülkeler Asya Pasifik ülkeleri ve Avrupa ülkeleri olmuştur.



Şekil 2.12. 2018 yılında ülkelerin yenilenebilir kaynaklardan ürettiği elektrik miktarı

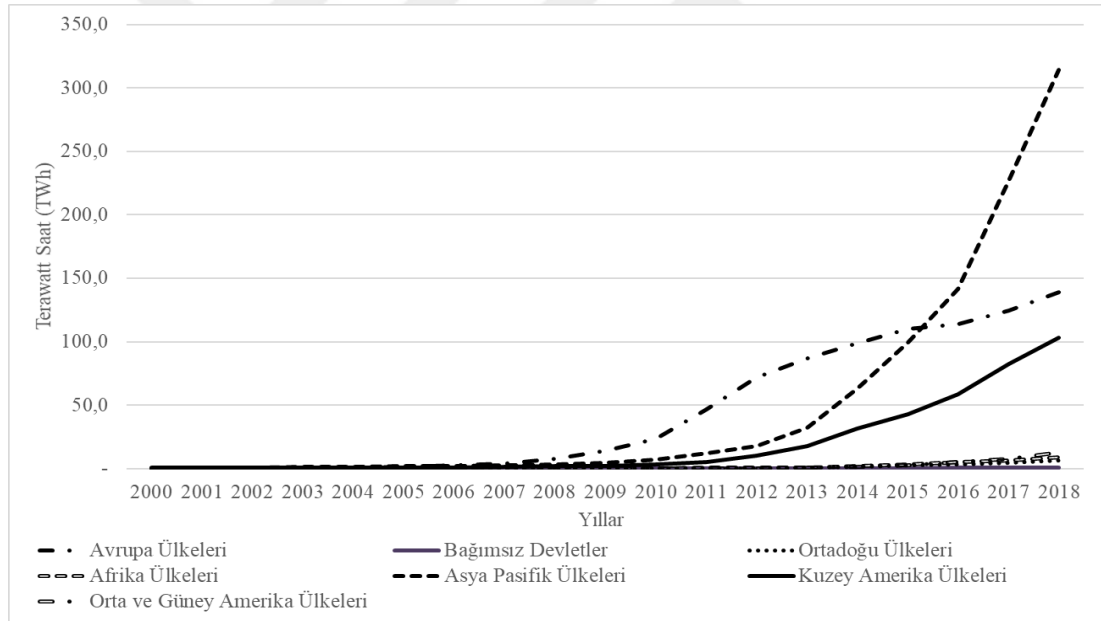
Dünya genelinde enerji üretimi için kullanılan en yaygın yenilenebilir kaynak rüzgardır. 2017 yılında rüzgar enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi dünyada 1128 TWh değerine ulaşmış; 2018 yılında 11270 TWh olmuştur (URL-2).

### 2.7.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi; güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi sürecinde açığa çıkan ışıma enerjisidir. Atmosfer yüzeyinde metrekareye düşen güneş enerjisi şiddeti yaklaşık 1370 W değerindedir. Atmosferden geçtikten sonra güneş; yeryüzüne ulaşana kadar enerjisinin büyük kısmını kaybeder. Yine de yeryüzüne ulaşan bu az miktardaki güneş enerjisi bile insanlığın mevcut enerji tüketiminden daha fazlasını üretme potansiyeline sahiptir (URL-6).

Fosil enerji kaynakları da dahil olmak üzere; nükleer enerji dışındaki bütün enerji kaynakları, dolaylı veya doğrudan güneşe bağlıdır (URL-6).

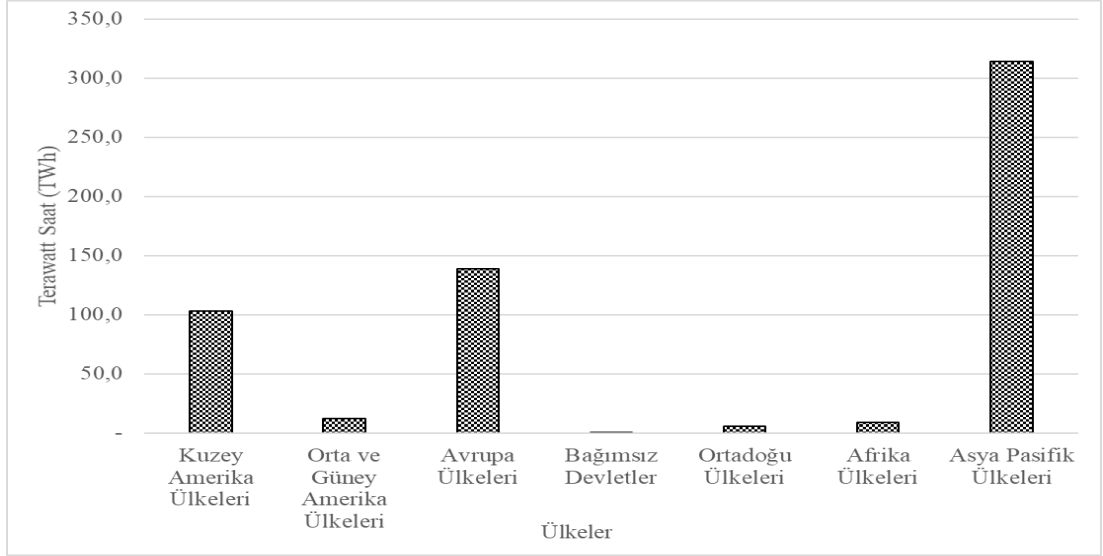
Şekil 2.13'te 1988 ile 2018 yılları arasında ülkelerin güneş enerjisinden ürettikleri elektrik enerjisinin yıllara göre değişimi verilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda lider ülke, Asya Pasifik ülkesi olan Bangladeş'tir (URL-2).



Şekil 2.13. Ülkelerin güneş enerjisinden elektrik üretiminin yıllara göre değişimi

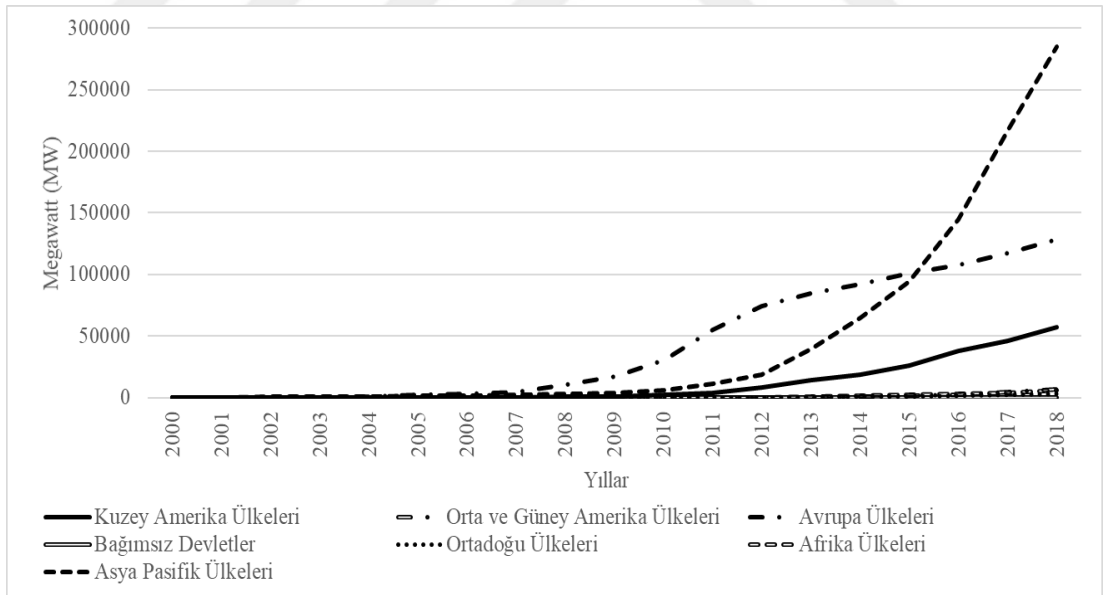
2018 yılında dünyada güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarı toplamda 584,6 TWh değerine ulaşmıştır (URL-2). Dünyada 2018 yılında güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarının ülkelere göre dağılımı Şekil 2.14'te gösterilmiştir.





Şekil 2.14. 2018 yılında ülkelerin güneş enerjisinden ürettikleri elektrik miktarı

2000 yılından sonra artış gösteren güneş enerjisi yatırımları tüm dünya ülkelerinde farklı kapasitelerde de olsa güneş enerjisi kurulu gücünde artış sağlamıştır. Güneş enerjisi kurulu gücünün ülkeler bazında yıllara göre değişimi Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



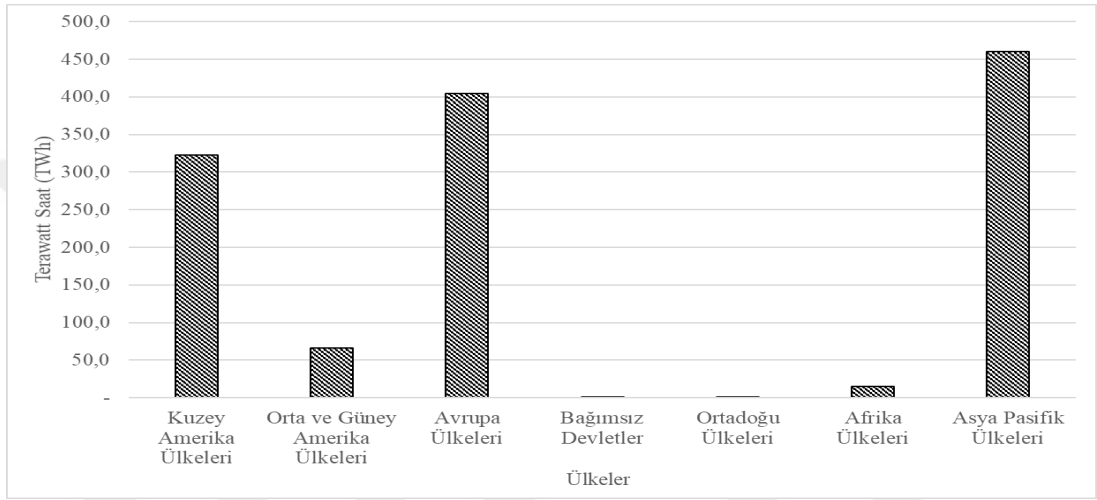
Şekil 2.15. Güneş enerjisi kurulu gücünün ülkelerde yıllara göre değişimi

Türkiye'de güneş enerjisi kurulu gücü 2018 yıl sonunda 5062,8 MW olarak açıklanmıştır (URL-7).



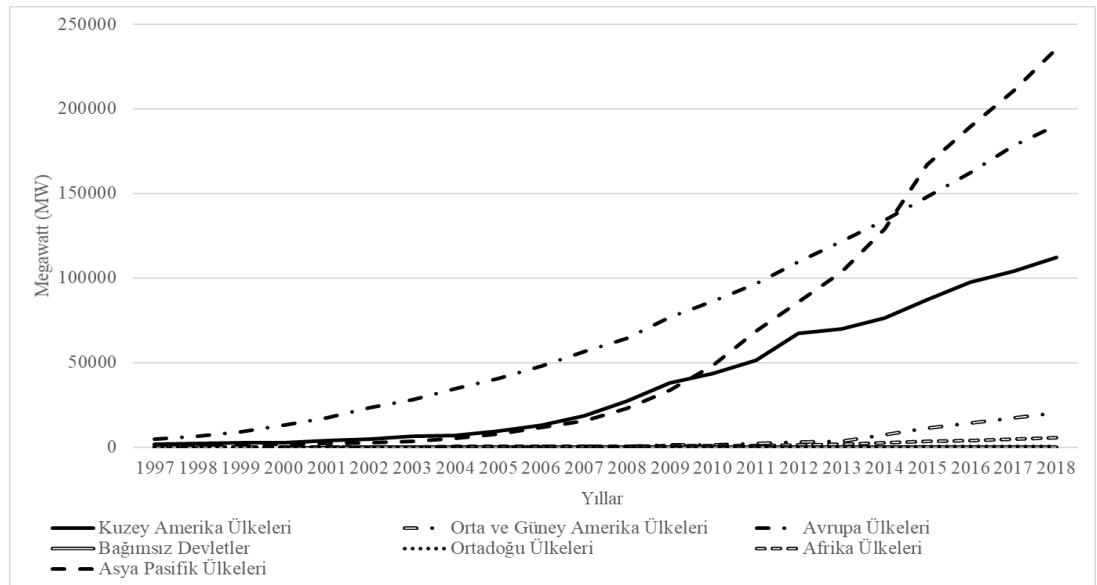
Elektrik üretimi için küresel bazda güneş enerjisinden daha önce kullanım alanı edinen rüzgar enerjisinde dünyada en fazla üretim yapan ülkeler Asya Pasifik ülkeleri ve Avrupa ülkeleridir.

Şekil 2.18'de 2018 yılında ülkelerin rüzgar enerjisinden ürettikleri elektrik miktarı görülmektedir. 2018 yılında dünya genelinde rüzgar enerjisinden üretilen elektrik 1296 TWh değerine ulaşmıştır. Ülke bazında en çok üretim 366 TWh ile Çin'de gerçekleşmiştir (URL-2).



Şekil 2.18. 2018 yılında ülkelerin rüzgar enerjisinden ürettikleri elektrik miktarı

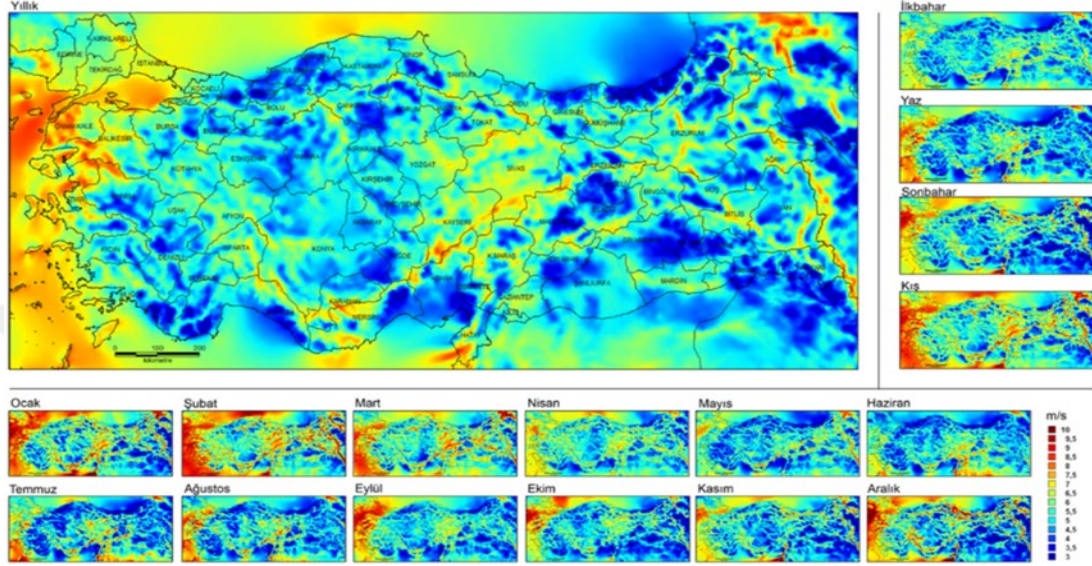
Rüzgar enerjisi kurulu gücünün ülkelerdeki yıllara göre değişimi Şekil 2.19'da verilmiştir. Son yıllarda rüzgar enerjisine yapılan yatırımların dünya genelinde arttığı görülmektedir.



Şekil 2.19. Rüzgar enerjisi kurulu gücünün ülkelerde yıllara göre değişimi

Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücü 2018 yılı sonunda 7005,4 MW olarak açıklanmıştır (URL-7).

Şekil 2.20’de verilen Türkiye’nin 50 metre yükseklikte rüzgar hızı haritasında, kıyı bölgelerinin daha fazla rüzgar aldığı görülmektedir.



Şekil 2.20. Türkiye’nin 50 m yükseklikte rüzgar hızı haritası (URL-6)

## 2.8. Karbondioksit Emisyonları

Küresel iklim değişikliği; insan faaliyetleri sonucu atmosferde artan sera gazı nedeniyle ortalama sıcaklık değerlerindeki artış ve iklim özelliklerinin değişmesidir. Atmosferde insan kaynaklı sera gazının artışına çok sayıda insan faaliyeti neden olmaktadır. Fosil yakıtların üretimi, iletimi ve kullanımı; emisyon miktarları ve doğal yaşam alanı tahribatı yüzünden sera gazı artışına neden olurlar. Karbon ve hidrojen atomu içeren organik bileşikler olan fosil yakıtlar; yanma sonucu atmosferdeki karbondioksit ve karbon monoksit miktarını arttıırırlar. Hayvancılık, tarım ve diğer ticaret faaliyetleri için ormansızlaştırma ve arazilerin kullanım şekillerinin değişmesi; atmosferden karbondioksiti alarak oksijene çeviren bitki örtüsünü tahrip ettiği için sera gazının artışına neden olur (URL-6). Et yiyen insanların neden oldukları diyet kaynaklı sera gazı emisyonları, tamamen bitkisel beslenen insanların neden olduğu diyet kaynaklı sera gazı emisyonundan yaklaşık iki kat daha fazladır (Scarborough ve diğ., 2014). İnsan kaynaklı her faaliyet atmosferdeki sera gazlarını farklı miktarlarda artırmaktadır (URL-).

Atmosferde sera etkisine neden olan gazlar; su buharı, karbondioksit, karbon monoksit, azot oksitler, metan, ozon, kloroflorokarbon bileşikleri ve sülfür hekzaflorür bileşikleridir (URL-6).

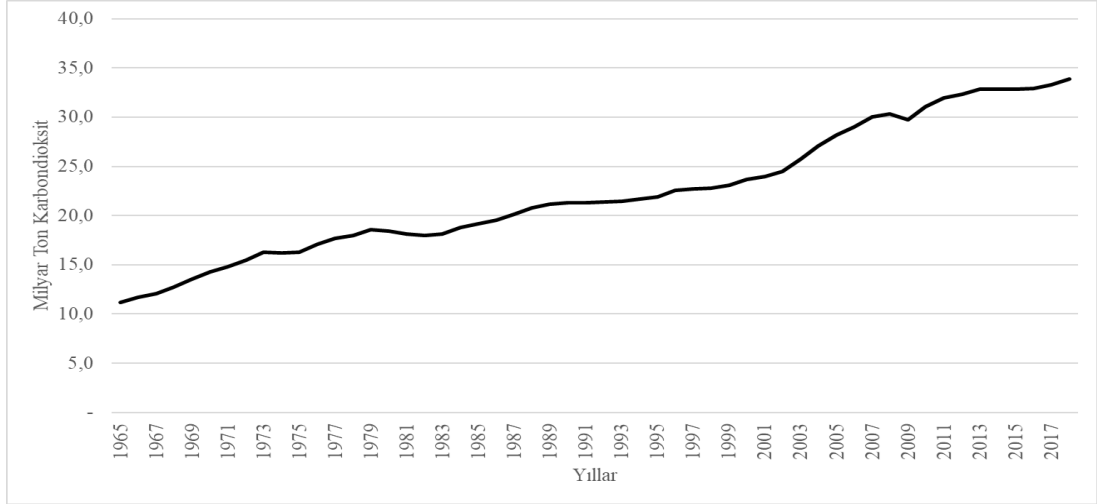
Güneşten gelen ışınımın atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşan kısmı yeryüzü tarafından yansıtılır. Atmosferde biriken sera gazları; yeryüzünden yansıyan ışınımı tekrar yeryüzüne geri dönmesine neden olur. Atmosferde artan sera gazları; atmosferin, kısa dalga boyuna sahip ışınım için geçirgen, uzun dalga boyuna sahip ışınım için daha az geçirgen olmasına neden olur. Sera gazları yüzünden yeryüzünden yansıyarak atmosferi terk etmesi gereken güneş ışınımı, yeryüzüne geri gönderilerek yeryüzünün daha fazla ısınmasına neden olur. Bu olay sera etkisidir (URL-6).

Güneşten gelen kısa dalga boyuna sahip ışınları büyük ölçüde geçiren ancak yeryüzünden yansıyan uzun dalga boyuna sahip ışınları geçirmeyen karbondioksit gazı, bu özelliği nedeniyle atmosferin alt kısımlarının ısınmasında çok etkili olan bir sera gazıdır (URL-6).

1990 ile 2100 arası dönem için hava sıcaklığında 2 ve 4,5 °C arasında bir artış olacağı öngörülmektedir. Küresel sıcaklıklardaki artış nedeniyle; su döngüsü değişecektir. Buzulların erimesiyle deniz suyu seviyesinde 0,09 ve 0,88 metre arasında artış beklenmektedir. Bazı yarı kurak alanlar daha da kuraklaşırken, yağışlarda mevsimlik ve enlemsel kaymalar öngörülmektedir (Türkeş, 2008).

Küresel iklim değişikliği; hayvanlar, insanlar, bitki örtüsü ve dünya için oldukça yıkıcı olaylara sebep olabilecektir.

Şekil 2.21'de dünyada insan kaynaklı faaliyetler sonucu oluşan karbondioksit emisyonunun yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Tüketim alışkanlıkları ve üretim yöntemlerinde köklü bir değişiklik olmazsa; emisyon miktarının artmaya devam edeceği görülmektedir.

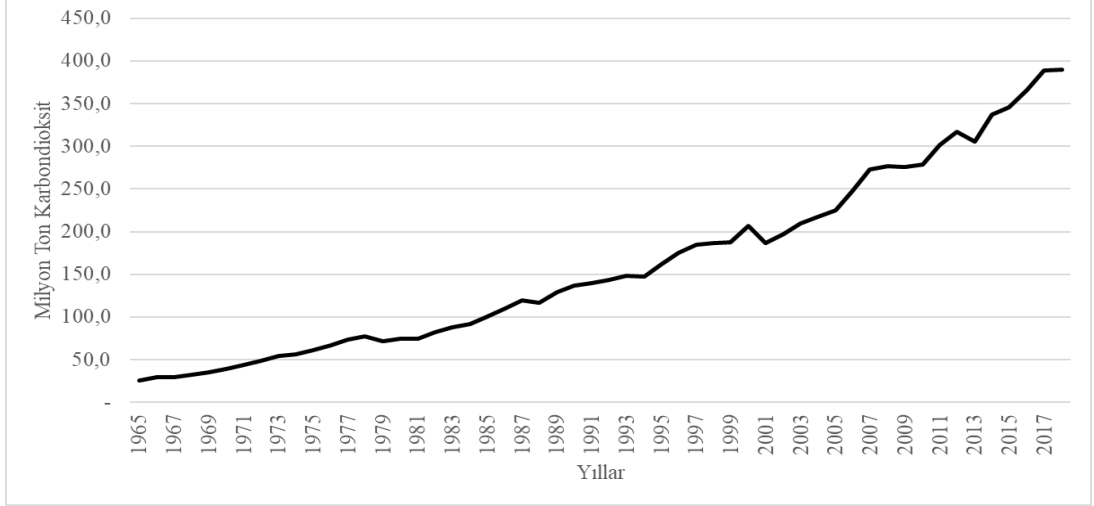


Şekil 2.21. Dünyanın toplam karbondioksit emisyonunun yıllara göre değişimi

Tablo 2.1'de 2018 yılında en çok karbondioksit emisyonuna neden olan ülkeler gösterilmiştir.

Tablo 2.1. 2018 yılında karbondioksit emisyonu en yüksek olan 10 ülke ve emisyon değerleri (URL-2)

Ülke	Karbondioksit Emisyonu (milyon ton)
Çin	9428,71
Amerika Birleşik Devletleri	5145,16
Hindistan	2479,07
Rusya Federasyonu	1550,77
Japonya	1148,43
Almanya	725,67
Güney Kore	697,58
İran	656,36
Suudi Arabistan	571,02
Kanada	550,29



Şekil 2.22. Türkiye'nin karbondioksit emisyonunun yıllara göre değişimi

2018 yılında dünya genelinde karbondioksit emisyonunda 17.sırada yer alan Türkiye'nin karbondioksit emisyonunun yıllara göre değişimi Şekil 2.22'de gösterilmiştir (URL-2). Dünyanın toplam emisyon miktarı gibi Türkiye'nin karbondioksit emisyonu her sene artmaktadır. Bu da tüm dünya ülkelerinin küresel iklim değişikliğine her sene daha da fazla katkı sağlaması anlamına gelmektedir.

### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

#### **3.1. Kullanılan Veriler**

##### **3.1.1. Ekonomi piyasası verileri**

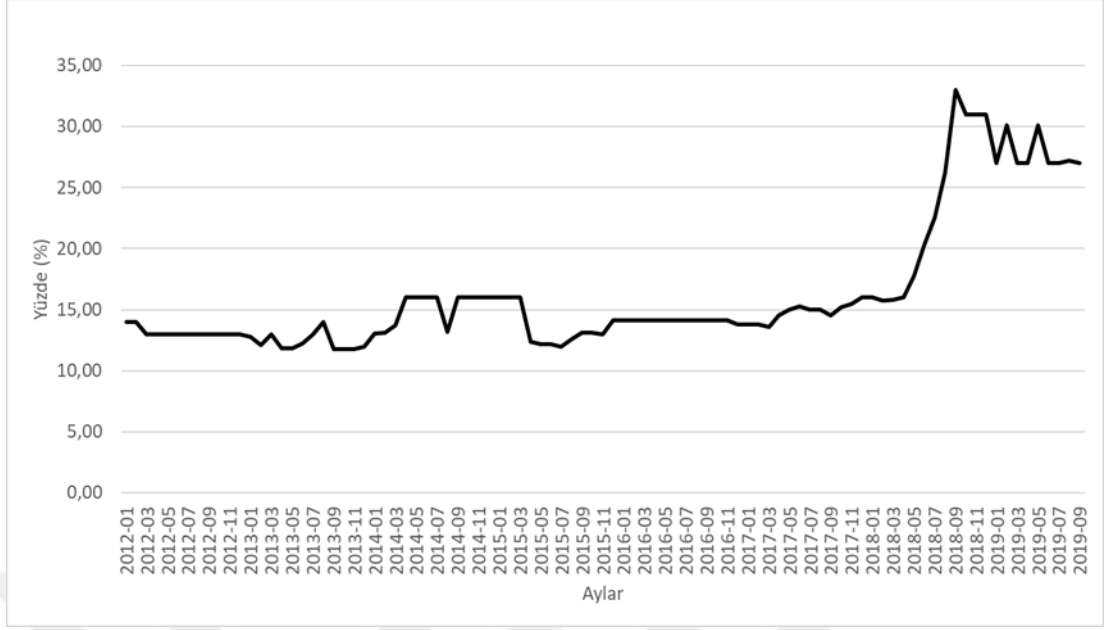
Çalışmada değerlendirilecek şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji sistemlerinin ekonomik çıktılarını birçok parametre etkilemektedir. Yenilenebilir enerji sistemi bileşenlerinin; servis ömrü, ilk yatırım maliyeti, yenileme maliyeti, bakım ve onarım maliyetleri enerji sisteminin ekonomik çıktıları için belirleyicidir. Ayrıca yenilenebilir enerji sisteminin servis ömrü boyunca değişecek olan ekonomik parametreler; faiz ve enflasyon oranları da enerji sistemlerinin enerji birim maliyetini ve geri ödeme süresini doğrudan etkilemektedir.

Hibrit yenilenebilir enerji sistem bileşenlerinin; servis ömrü, ilk yatırım maliyeti, yenileme maliyeti, bakım ve onarım maliyetleri 3.3.5. Sistem Bileşenleri bölümünde verilmiştir. Bu bölümde, sistemin servis ömrü boyunca değişecek olan ekonomik piyasa verilerinin belirlenmesi açıklanmıştır.

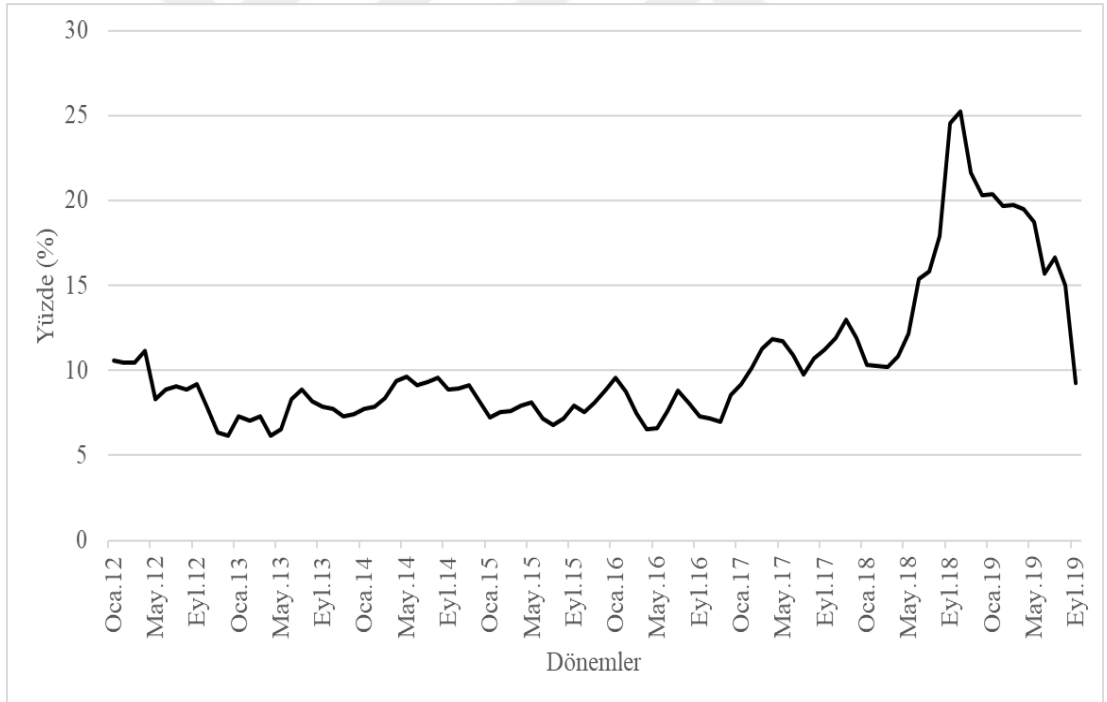
Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin servis ömrü 25 yıldır. Bu nedenle gelecek 25 yıl için ekonomik parametrelerin saptanması gerekmektedir.

Enflasyon oranı ve faiz oranını belirlemek için Ocak 2012 ile Eylül 2019 arasındaki aylık veriler kullanılmıştır (URL-10). Şekil 3.1'de bankaların 1 yıl ve daha uzun vadeli Türk Lirası mevduatlarına fiilen uyguladığı azami faiz oranlarının, Şekil 3.2'de tüketici fiyat endeksi (TÜFE) oranlarının ve Şekil 3.3'te üretici fiyat endeksi (ÜFE) oranlarının değişimleri verilmiştir. Grafikler, hesaplamalarda kullanılan verilerle oluşturulmuştur (URL-10).

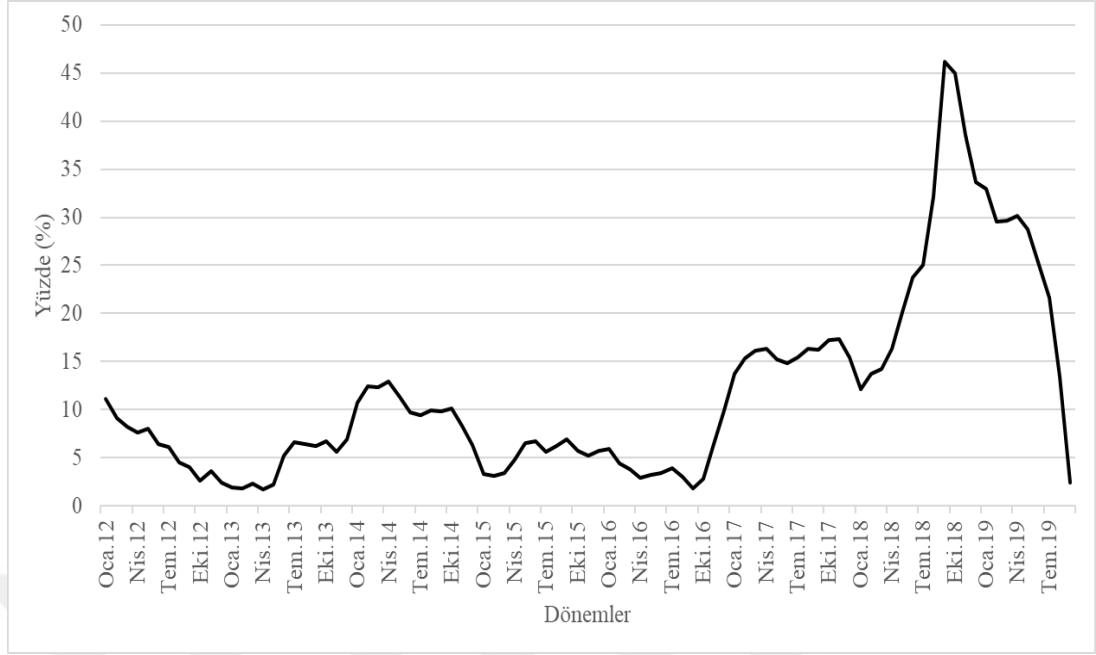




Şekil 3.1. Bankaların 1 yıl ve daha uzun vadeli Türk Lirası mevduatlarına filen uyguladığı azami faiz oranının aylara göre değişimi



Şekil 3.2. TÜFE oranının aylara göre değişimi



Şekil 3.3. ÜFE oranının aylara göre değişimi

Faiz oranını belirlemek için Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası verilerinden; bankalarca mevduatlara fiilen uygulanan azami faiz oranları alınmıştır. 1 yıl ve daha uzun vadeli Türk Lirası mevduatına uygulanan aylık faiz oranlarının ortalaması alınmıştır. Ocak 2012 ve Eylül 2019 arasındaki ortalama faiz oranı %16,37 olarak hesaplanmıştır. Erişilebilen ekonomik piyasa verileri ışığında; yenilenebilir enerji sisteminin servis ömrü boyunca faizin yaklaşık %16,37 olacağı varsayılmıştır ve ekonomik hesaplamalarda bu oran kullanılmıştır.

Enflasyon oranı üzerinde TÜFE ve ÜFE oranları doğrudan etkilidir. Bu yüzden çalışmada kullanılacak enflasyon oranı için TÜFE ve ÜFE oranlarının ortalaması kullanılmıştır. Ocak 2012 ve Eylül 2019 arasındaki yıllık TÜFE oranlarının ortalaması %10,48, yıllık ÜFE oranlarının ortalaması %11,72 olarak hesaplanmıştır. Ocak 2012 ve Eylül 2019 arasındaki yaklaşık enflasyon oranını hesaplamak için bu tarihlerdeki ortalama ÜFE ve ortalama TÜFE oranlarının ortalaması kullanılmıştır. Ocak 2012 ve Eylül 2019 arasındaki yaklaşık enflasyon oranı %11,09 olarak hesaplanmıştır. Erişilebilen ekonomik piyasa verileri doğrultusunda; yenilenebilir enerji sisteminin servis ömrü boyunca enflasyonun yaklaşık %11,09 olacağı varsayılmıştır ve ekonomik hesaplamalarda bu oran kullanılmıştır.

### 3.1.2. Evsel elektrik tüketim ve elektrik birim fiyatı verileri

Çalışmada konutun elektrik tüketimi Tablo 3.1'de verilen elektrik tüketen cihazlar üzerinden hesaplanmıştır.

Tablo 3.1. Konutun elektrik tüketen cihazları ve tüketim değerleri

Cihaz Adı	Güç (kW)	Aylık Tüketim (kWh)
49 inch LED TV A+	0,098	23,52
520 L Buzdolabı A+	0,44	31,68
Çamaşır Makinası A+	0,303	18,18
Elektrik Süpürgesi	0,75	5,625
Bulaşık Makinası A+	0,51	30,6
Ütü	2,6	15,6
Saç Kurutma Makinası	2,2	13,2
12000 Btu Klima	1,08	97,2
Fırın	2,5	75
Dizüstü Bilgisayar	0,09	10,8
Aspiratör	0,25	7,5
Telefon Şarjı	0,002	0,24
Kettle	2,2	33
Tost Makinası	2	15
Led Ampül	0,012	1,8

Klimanın kullanıldığı yaz ayları elektrik tüketiminin en fazla olduğu dönemdir. Çalışmanın kapsadığı coğrafi bölge kuzey yarımkürede yer aldığı için en fazla elektrik enerjisi ihtiyacının olduğu aylar Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarıdır.

Konutun elektrik enerjisi ihtiyacı; konuttaki cihazların elektrik tüketimleri doğrultusunda aylık 378,95 kWh olarak hesaplanmıştır. HOMER Grid yazılımının kütüphanesinde tanımlı elektrik tüketici profilleri vardır. Aylık ortalama elektrik enerjisi tüketimi, yazılımda tanımlı elektrik tüketici profiline işlenerek yazılıma elektrik enerjisi talebi tanımlanmıştır Konutun elektrik enerjisi talebi 2,68 kW pik yük ile günlük 12,63 kWh olarak belirlenmiştir.

Şebeke elektriğinin birim fiyatı Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun 8864 numaralı kurul kararı ile yayınlanan; 1/10/2019 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tablosundan alınmıştır. Tablonun ilgili kısmı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

Orta gerilimde mesken tipi tüketiciye tanımlanan en yüksek elektrik enerjisi birim fiyatı tek terimli ve tek zamanlı tarifede verilmektedir. Güvenli tarafta kalmak için elektrik tarifesi; tek zamanlı, tek terimli, mesken tüketici olarak belirlenmiştir ve elektrik enerjisi birim fiyatı 0,54 TL/kWh seçilmiştir (EPDK, 2019b).

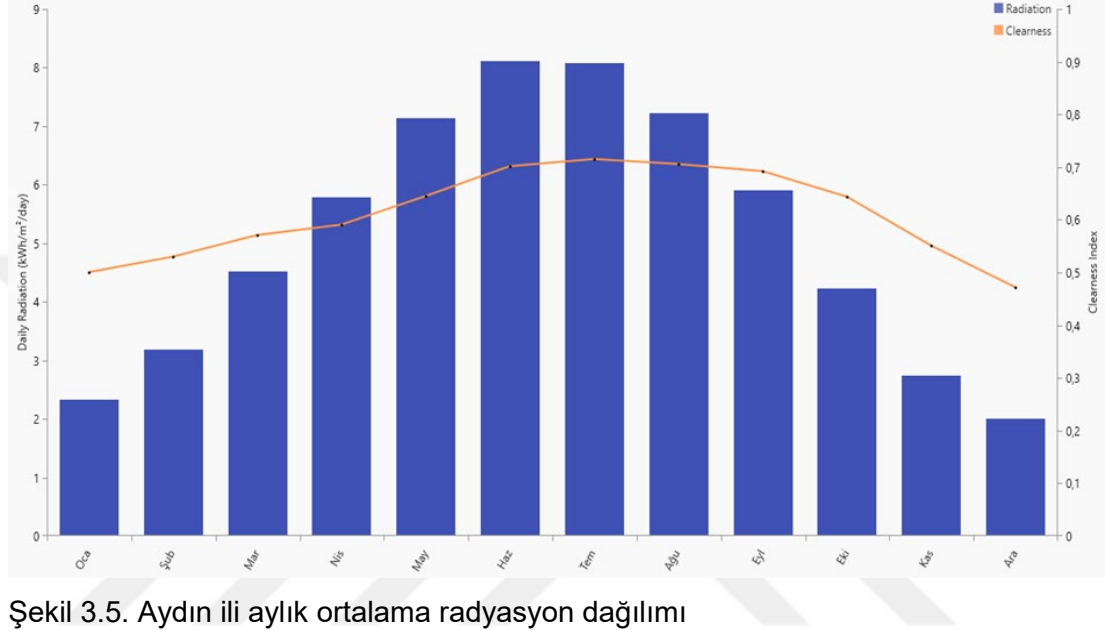
Şebekeye satılan elektrik enerjisinin birim fiyatı, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun 1/10/2019 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tablosunun üreticiler için veriş yönünde tek terimli dağıtım tarifesinden belirlenmiştir. Reaktif enerji bedelinden dağıtım bedeli çıkarılarak; şebekeye satılan elektrik enerjisinin birim fiyatı 28,18 kr/kWh olarak alınmıştır (EPDK, 2019b).

EPDK tarafından onaylanan ve 1/10/2019 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Vergi, Fon ve Pay Hariç Tarifeler													
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcısı Tüketiciler													
Tek Zamanlı		Gündüz		Puant		Gece							
kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh						
48,7941	49,4665	81,6195	23,5159										
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları													
Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan Tüketiciler							Özel Tedarikçiden Enerji Alan Tüketiciler İçin Sistem Kullanım Tarifeleri						
Kapasite		Aktif Enerji + Dağıtım					Kapasite				Dağıtım Bedeli		Reaktif Enerji
Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece	Reaktif Enerji	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Dağıtım Bedeli	Reaktif Enerji	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh
kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kVARh	kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh
Orta Gerilim Çift Terimli							Orta Gerilim Çift Terimli						
Sanayi	306,0013	612,0027	58,3519	59,0244	91,1775	33,0738	30,0511	Sanayi	306,0013	612,0027	9,2073	30,0511	
Ticarethane	459,3833	918,7665	67,8751	68,4860	103,4763	40,6455	30,0511	Ticarethane	459,3833	918,7665	14,3493	30,0511	
Mesken	447,9982	895,9964	51,2138	51,9403	78,4002	30,7808		Mesken	447,9982	895,9964	14,2130		
Tarımsal Sulama	443,3345	886,6690	60,2747	60,8260	92,2927	35,6810	30,0511	Tarımsal Sulama	443,3345	886,6690	11,8178	30,0511	
Aydınlatma	456,6196	913,2391	62,7670					Aydınlatma	456,6196	913,2391	13,7723		
Tek Terimli							Tek Terimli						
Sanayi		59,1723	59,8450	91,9981	33,8943	30,0511		Sanayi			10,1703	30,0511	
Ticarethane		71,7103	72,3211	107,3116	44,4806	30,0511		Ticarethane			17,8991	30,0511	
Mesken		54,1819	54,9084	81,3681	33,7487			Mesken			17,5494		
Tarımsal Sulama		63,3503	63,9018	95,3685	38,7566	30,0511		Tarımsal Sulama			14,7144	30,0511	
Aydınlatma		66,4369						Aydınlatma			17,1798		
Alçak Gerilim Tek Terimli							Alçak Gerilim Tek Terimli						
Sanayi		65,6938	66,3663	98,5194	40,4157	30,0511		Sanayi			15,7355	30,0511	
Ticarethane		75,6922	76,3030	111,2934	48,4625	30,0511		Ticarethane			21,3249	30,0511	
Mesken		57,2754	58,0020	84,4618	36,8422			Mesken			20,8565		
Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler		27,4679						Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler			14,1455		
Tarımsal Sulama		66,6141	68,0578	98,6322	42,0202	30,0511		Tarımsal Sulama			17,5223	30,0511	
Aydınlatma		70,2081						Aydınlatma			20,4246		
Genel Aydınlatma		50,6034											
Üreticiler İçin Veriş Yönünde Çift Terimli Dağıtım Tarifesi							Üreticiler İçin Veriş Yönünde Tek Terimli Dağıtım Tarifesi						
Kapasite		Dağıtım Bedeli					Reaktif Enerji	Kapasite		Dağıtım Bedeli		Reaktif Enerji	
Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	kr/kWh					kr/kVARh	Güç Bedeli	Güç Aşım Bedeli	Dağıtım Bedeli	Reaktif Enerji		
kr/Ay/kW	kr/Ay/kW	kr/kWh					kr/kVARh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh	kr/kWh		
Üretici	204,8607	409,7214						1,3792	30,0511	Üretici	1,8707	30,0511	
Lisanssız Üretici*													
									31/12/2017 tarihinden önce geçici kabule hazır butanağı alan tesisler için**		4,4748	30,0511	
									31/12/2017 tarihinden sonra geçici kabule hazır butanağı alan tesisler için		17,8991	30,0511	
Çok zamanlı tarife uygulamasında; sayaş; saati süreli yaz saati uygulamasına göre güncellenmiş sayaşlar için; Ekim Ayının Son Pazar Günü ile Mart Ayının Son Pazar Günü arasında Gündüz 07-18, Puant 18-23, Gece 23-07 saatleri arasında; Mart Ayının Son Pazar Günü ile Ekim Ayının Son Pazar Günü arasında Gündüz 06-17, Puant 17-22, Gece 22-06 saatleri arasında; sayaş; saati süreli yaz saati uygulamasına göre güncellenmiş sayaşlar için yıl boyunca Gündüz 06-17, Puant 17-22, Gece 22-06 saatleri arasındadır.													
Emrearedde kapasite tarifesine tabi kullanıcılara üreticiler için belirlenmiş olan güç, güç aşım ve dağıtım bedeli emrearedde güç, güç aşım ve dağıtım bedeli olarak uygulanır.													
Fon, pay, vergi vb. yasal yükümlülükler ayrıca ilave edilecektir.													
*11/5/2017 tarihli ve 7070 sayılı Kurul Kararı gereği Elektrik Piyasası Kanununun 14 üncü maddesinin birinci fıkrasının (b) bendi kapsamındaki lisanssız üreticiler için sadece tek terimli dağıtım tarifesi uygulanacaktır.													
**31/12/2017 tarihinden önce ilgili şebeke işletmecisinden geçici kabule hazır butanağı alan tesisler için geçici kabulün bu butanağı istinaden yapılmaması halinde uygulanacak olan tarifedir.													

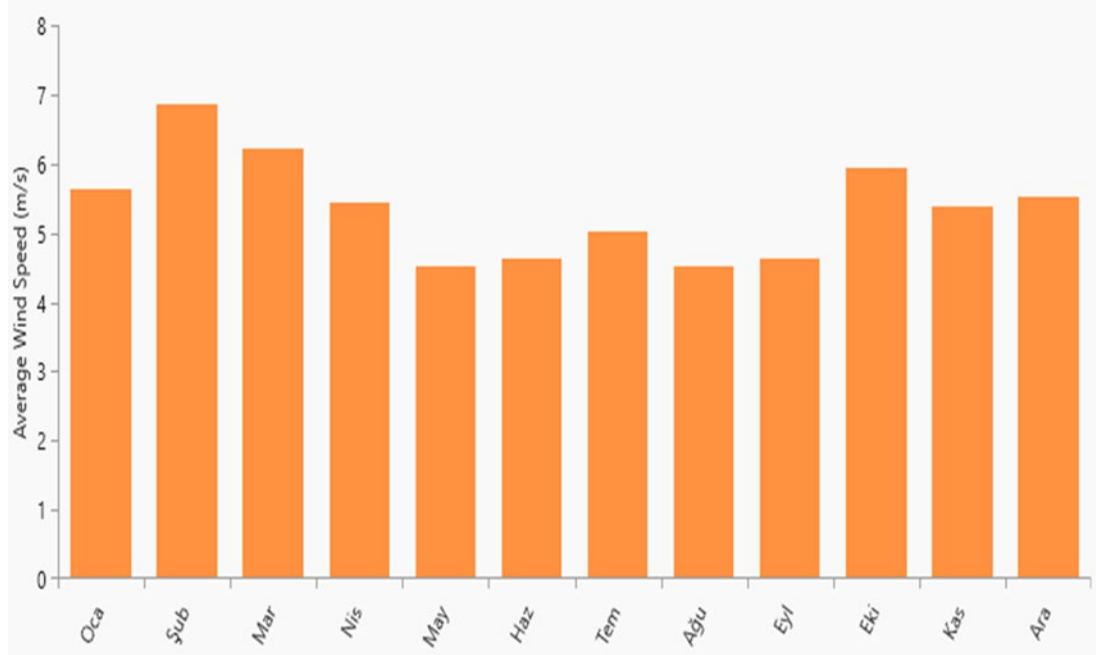
Şekil 3.4. 1/10/2019 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tablosu (EPDK, 2019b)

### 3.1.3. İklim verileri

Aydın iline ait aylık ortalama radyasyon değerleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bölgenin 50 metre yükseklikteki rüzgar hızı dağılımı Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Aydın iline ait iklim verileri, NASA Surface Meteoroloji ve Güneş Enerjisi veritabanından alınmıştır (URL-16).



Şekil 3.5. Aydın ili aylık ortalama radyasyon dağılımı



Şekil 3.6. Aydın ili 50 metre yükseklik için rüzgar hızı dağılımı

### **3.2. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Değerlendirme Kriterleri**

Tasarlanan yenilenebilir enerji sistemlerinin hepsi şebekeye bağlı olarak modellenmiştir. Bu sistemler; ekonomik ve çevresel olarak iki ayrı başlıkta değerlendirilmiştir.

Ekonomik değerlendirme kriterleri; başlangıç yatırım maliyeti, geri ödeme süresi, net bugünkü değer ve enerji birim maliyeti olarak belirlenmiştir. Sistemin en düşük enerji birim maliyetine ve en kısa geri ödeme süresine sahip olması hedeflenmiştir.

Çevresel değerlendirme kriterleri; yenilenebilir enerji kullanım oranı ve emisyon değerleri olarak belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji sistemleri şebekeye bağlı olarak modellendiği için optimum sistemin en yüksek yenilenebilir enerji kullanım oranına ve en düşük emisyon değerlerine sahip olması hedeflenmiştir.

### **3.3. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Bileşenleri**

Modellenen hibrit yenilenebilir enerji sistemleri; güneş enerjisi sistemlerinin, rüzgar türbinlerinin ve eviricilerin farklı kombinasyonları ile oluşturulmuştur.

#### **3.3.1. Fotovoltaik sistem**

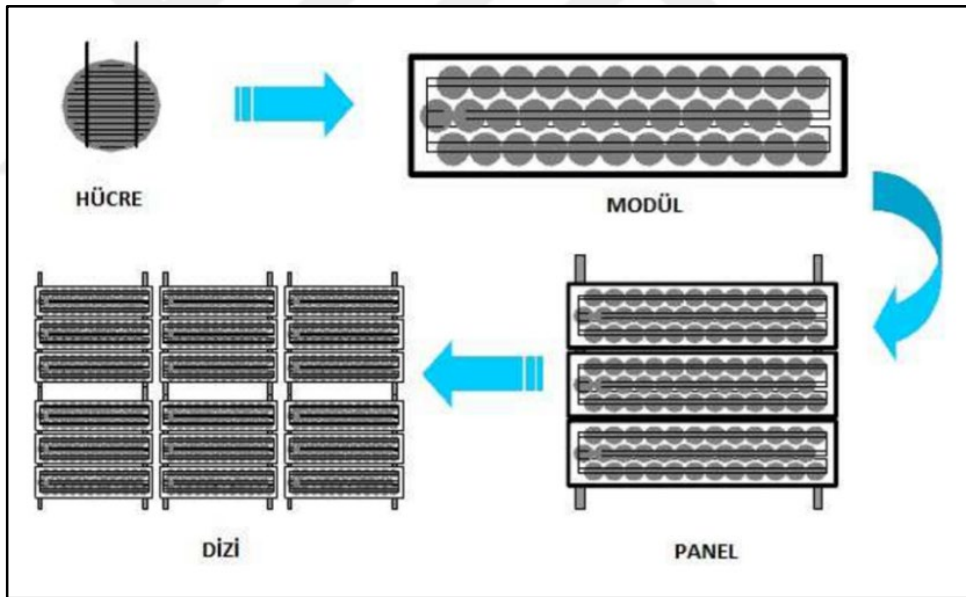
Fotovoltaik hücreler; üzerine düşen güneş ışığını elektrik akımına dönüştüren yarı iletken bir malzemedir. Hücrelerin yüzey alanları yaklaşık 100 cm<sup>2</sup> ve kalınlıkları 0,1 mm ile 0,4 mm arasındadır. Bir yarı iletken maddenin fotovoltaik hücre olabilmesi için N tipi ya da P tipi katkılanması gerekir. Yarı iletkenin saf eriyiğine katılan katkı maddesine göre N tipi ya da P tipi iletken elde edilir. Bir araya getirilen N tipi ve P tipi iletkenler PN eklem oluştururlar. Oluşan bu eklemde, N tipi iletken P tipi iletkene doğru akım oluşur. Yük dengesi sağlanana kadar devam eden bu doğru akım, elektrik akımını oluşturur (Kılıç, 2015).

Fotovoltaik hücrelerin üretiminde farklı yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Silisyum, arsenit, kadmiyum tellurid, bakır indiyum diselenid gibi malzemelerden en fazla kullanılan yarı iletken, silisyumdur (URL-6).

Fotovoltaik panellerde en çok kullanılan hammadde olan silisyumun birçok avantajı vardır. Doğada en çok bulunan elementlerden olan silisyum ucuz bir malzemedir. Silisyum atomunun elektriksel özellikleri uzun süre değişmez ve bu da uzun servis ömrüne sahip bir fotovoltaik panel üretilmesini sağlar (Oğuz ve diğ., 2015).

Fotovoltaik pillerin; monokristal, polikristal, esnek ve ince film gibi farklı çeşitleri vardır. En yaygın kullanılan ve en yüksek verime sahip olan fotovoltaik piller; polikristal silikon piller ve monokristal silikon pillerdir. Monokristal silikon piller ve polikristal silikon piller; benzer tekniklerle üretilirler. Polikristal silikon pillerin üretiminde; monokristal silikon pillerin üretiminde olan saflaştırma aşaması yoktur. Bu yüzden polikristal güneş pillerinde silisyum homojen değildir. Monokristal güneş pilinin üretimi polikristal güneş pili üretimine göre daha pahalı olduğu için, polikristal güneş pilleri ekonomik olarak daha avantajlıdır (Oğuz ve diğ., 2015).

Bir fotovoltaik hücrenin gerilimi 0,5 V civarındadır. Güç çıkışını arttırmak için çok sayıda güneş hücresi paralel veya seri bağlanarak fotovoltaik modülü oluştururlar. Hedeflenen üretim miktarına göre fotovoltaik modüller paralel veya seri bağlanarak fotovoltaik sistemleri oluştururlar. Fotovoltaik sistemlerin kapasiteleri birkaç Watt ile birkaç MegaWatt aralığında olabilir (URL-6). Şekil 3.7'de fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Fotovoltaik hücre, modül, panel, dizi gösterimi (Çelebi, 2002)

Fotovoltaik hücrelerde üretilen doğru akımın tesis ve konutlarda kullanılabilmesi için evirici ile alternatif akıma dönüştürülmesi gerekir (URL-6).

Fotovoltaik sistemler; şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak kullanılabilir. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler; üretilen ihtiyaç fazlası elektrik şebekeye satılabilir veya üretim yetersiz kalırsa şebekeden elektrik satın alınabilir. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde; şebeke, depolama birimi gibi çalıştığı için fotovoltaik

sistemler; şebekeye bağlı olarak tasarlandığı zaman akü ve şarj kontrol cihazına ihtiyaç duymazlar. Bu nedenle şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler daha düşük ilk yatırım maliyetine sahiptir (URL-6).

Şebeke elektriğinin çok pahalı olduğu veya şebeke elektriğine erişimin olmadığı bölgelerde fotovoltaik sistemler; şebekeden bağımsız olarak tasarlanır. Bu sistemlerde üretilen elektrik enerjisi doğrudan tüketilebilir veya depolanabilir. Üretilen elektrik enerjisi hemen tüketilecekse; evirici ile alternatif akıma dönüştürülür. Eğer üretilen elektrik enerjisi depolanacaksa; akülerde depolanır ve ihtiyaç duyulduğu zaman evirici ile alternatif akıma dönüştürülerek tüketilir (URL-6).

Akülerin olduğu enerji sistemlerinde şarj kontrol cihazının bulunması; sistemin performansına ve kullanım ömrüne olumlu katkı sağlar. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan şarj kontrol cihazı; fotovoltaik sistem gerilimi, akü geriliminin altına düştüğü zaman aküden fotovoltaik panele enerji akışını engeller. Fotovoltaik sistemin gerilimi, akü geriliminin altına düştüğünde; akünün fotovoltaik sistemi şarj etmesi önlenir (URL-6).

Servis ömürleri ortalama 25 yıl olan fotovoltaik enerji sistemleri; bakım ve onarım gerektirmez, güvenli sistemlerdir ve geri dönüştürülebilirler (URL-6).

HOMER Grid yazılımının kütüphanesinde bulunan fotovoltaik sistemin teknik özellikleri, baz alınan fotovoltaik panellerin teknik özellikleri ile aynıdır. Bu nedenle ülke ekonomisine göre farklılık gösterdiği için sadece fotovoltaik sistemin maliyet değerleri güncellenmiştir. Hesaplamalarda kullanılmaya üzere tanımlanan fotovoltaik sistemin maliyeti Şekil 3.8'de gösterilmiştir

Cost			
Capacity (kW)	Capital (₺)	Replacement (₺)	O&M (₺/year)
1	2,800.00	2,400.00	0.00

Şekil 3.8. HOMER Grid yazılımına tanımlanan 1 kW fotovoltaik sistem maliyeti

1 kW fotovoltaik sistemin maliyetini hesaplamak için yapılan araştırmada; 275W Polikristal güneş panellerinin fiyatlarının 550 TL ile 930 TL arasında değiştiği görülmüştür (URL-9).

Fotovoltaik sistemlerin panel satın alma dışındaki yan maliyetleri göz önüne alınarak 275W fotovoltaik sistemin satın alma ve kurulumu kapsayan toplam maliyeti 700 TL olarak belirlenmiştir (URL-10).



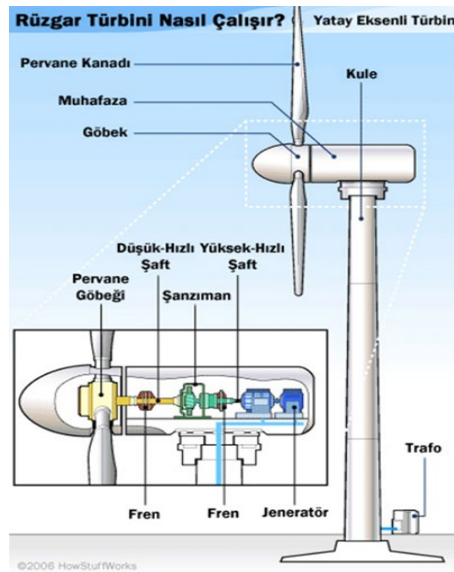
1 kW kapasiteli fotovoltaik sistemin yaklaşık maliyeti 2800 TL olarak hesaplanmıştır. Daha yüksek kapasiteli fotovoltaik sistemler için; 1 kW fotovoltaik sistemin fiyatı birim fiyat kullanılmıştır.

### 3.3.2. Rüzgar türbini

Rüzgar; farklı sıcaklık, nem ve basınç özelliklerine sahip hava kütlelerinin hareketiyle oluşur. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin %2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir. Rüzgarın hızı yerden yükseldikçe artar ve teorik rüzgar gücü, rüzgar hızının küpüyle doğru orantılıdır. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli 48000 MW olarak hesaplanmıştır ve bu potansiyeli gerçekleyecek rüzgar enerji santralini kapladığı yüzölçümü Türkiye yüzölçümünün sadece %1,30'una denktir (URL-6).

Rüzgar türbinleri; havanın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Kullanımda olan rüzgar türbinleri dönme eksenlerine göre; yatay eksenli, dikey eksenli olarak gruplandırılırlar (URL-9).

Şekil 3.9'da yatay eksenli rüzgar türbinlerinin şematik gösterimi verilmiştir. Pervaneler; rüzgarın gücünü pervane göbeğine aktarır ve uçak kanadına benzer şekilde tasarlanırlar. Dişli kutusunda; döndürme kuvvetinin düşük hız milinden yüksek hız miline aktarılmasını sağlayan dişliler bulunur. Yüksek hız mili genelde düşük hız milinden yaklaşık 50 kat daha hızlı döner. Jeneratörde; mekanik enerjiye dönüştürülen rüzgar hızı, elektrik enerjisine dönüştürülür (URL-9).



Şekil 3.9. Yatay eksenli rüzgar türbini şematik gösterimi (URL-14)

Rüzgar enerji santrallerinin ilk yatırım maliyeti yüksek ve kapasite faktörü düşüktür. Rüzgar zamanla değişken güç ve hızda olduğu için, rüzgar enerjisinden üretilen elektrik miktarı değişkendir. Rüzgar türbinleri yüksek sesle çalışan büyük yapılardır. Görüntü ve gürültü kirliliğine neden olan bu türbinler; yanlış yerlere konumlandırıldıklarında kitlesel hayvan ölümlerine neden olabilirler (URL-6).

Rüzgar enerji santralleri, temiz enerji üretirler. Rüzgar; atmosferde sınırsız olarak bulunan, bedava bir kaynaktır. Bu yüzden rüzgar enerjisi, enerjide dışa bağımlılığı azaltma potansiyeline sahiptir (URL-6).

50W ile 20 kW arasında türbin gücüne sahip rüzgar türbinlerinin; bakım masrafı ve aküye ihtiyacı yoktur. Düşük kapasiteli türbin olarak sınıflandırılan bu rüzgar türbinlerinin kurulum masrafı düşüktür (Nurbay ve Çınar, 2005).

HOMER Grid yazılımının kütüphanesinde yer alan rüzgar türbinleri arasında yerli üretim rüzgar türbini bulunmamaktadır. Türkiye'nin ekonomik verilerinin kullanıldığı bu çalışmada; ithal rüzgar türbinleri fazla maliyetli olmaktadır. Daha düşük satın alma maliyeti sunması nedeniyle; yerli üretim rüzgar türbinleri değerlendirilmiştir. Bu nedenle çalışmada değerlendirilecek rüzgar türbinleri için yerli üreticiler araştırılmıştır.

Çalışmada kullanılacak rüzgar türbinlerinin güç eğrileri yazılımın kütüphanesine manuel olarak kaydedilmiştir. Şekil 3.10'da türbinlerin; gücü, yüksekliği ve çıkış akım tipi gösterilmiştir.

Name	Library	Manufacturer	Capacity (kW)	Hub height (m)	Output type	Lifetime (years)
IST-1000W-24V	User	ISTABREEZE	1	10	DC	20
IST-1500W-48V	User	ISTABREEZE	2	10	DC	20
IST-2000W-48V	User	ISTABREEZE	2	10	DC	20
IST-500W-12V	User	ISTABREEZE	1	10	AC	20
IST-700W-12V	User	ISTABREEZE	1	10	AC	20

Şekil 3.10. HOMER Grid rüzgar türbini kütüphanesi ekran görüntüsü

Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin olası kombinasyonları için kullanılan rüzgar türbinleri; 500 watt, 700 watt, 1000 watt, 1500 watt ve 2000 watt kapasitelidirler. Bu rüzgar türbinlerinin hepsinin servis ömrü üretici tarafından 20 yıl olarak belirtilmiştir (URL-14).

Değerlendirilen kapasitelerdeki rüzgar türbinlerinin akü ihtiyacı ve bakım masrafı olmadığı için; bakım ve onarım gideri 0 TL olarak belirtilmiştir.

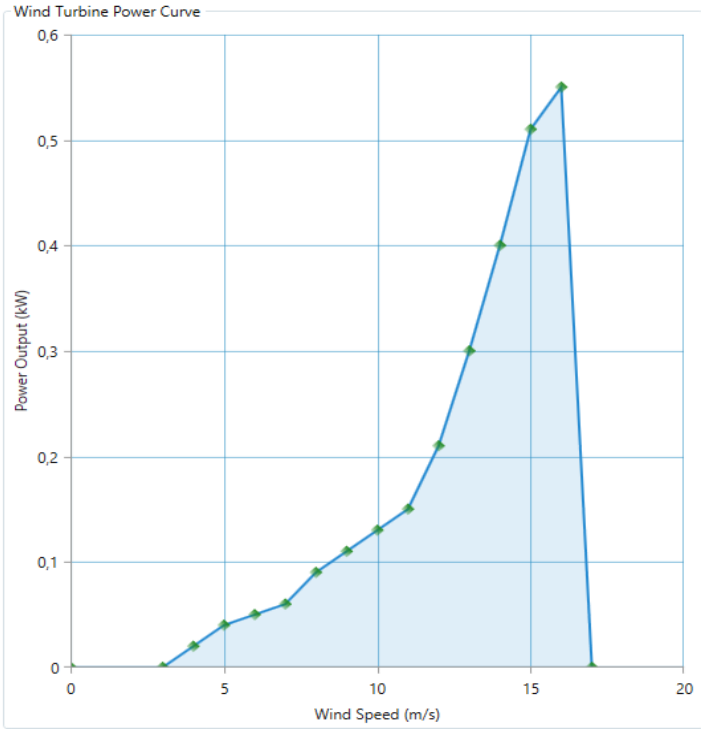
Şekil 3.11'de 500 watt rüzgar türbininin, Şekil 3.12'de 700 watt rüzgar türbinin, Şekil 3.13'te 1000 watt rüzgar türbinin, Şekil 3.14'te 1500 watt rüzgar türbinin ve Şekil 3.15'te 2000 watt rüzgar türbinini yazılıma işlenen güç eğrileri verilmiştir. Bu güç eğrilerinin verileri üreticinin satış sitesinden alınmıştır (URL-14).

IST-500W-12V - this item is in your library.

General Power Curve Losses Maintenance Defaults

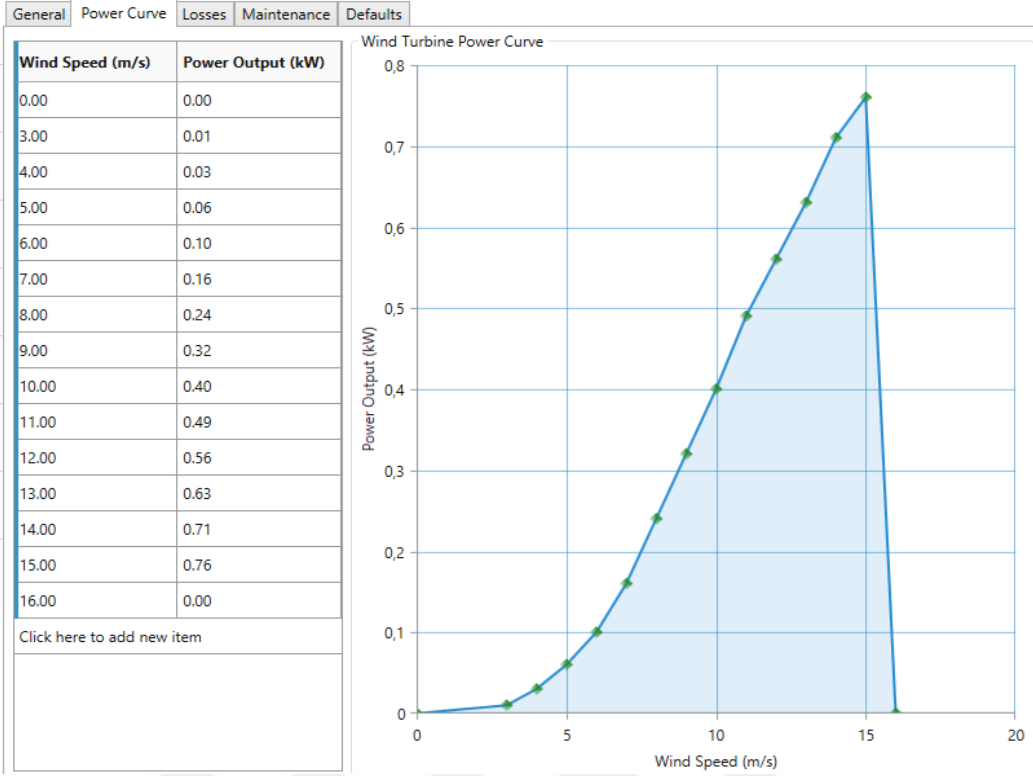
Wind Speed (m/s)	Power Output (kW)
0.00	0.00
3.00	0.00
4.00	0.02
5.00	0.04
6.00	0.05
7.00	0.06
8.00	0.09
9.00	0.11
10.00	0.13
11.00	0.15
12.00	0.21
13.00	0.30
14.00	0.40
15.00	0.51
16.00	0.55
17.00	0.00

[Click here to add new item](#)



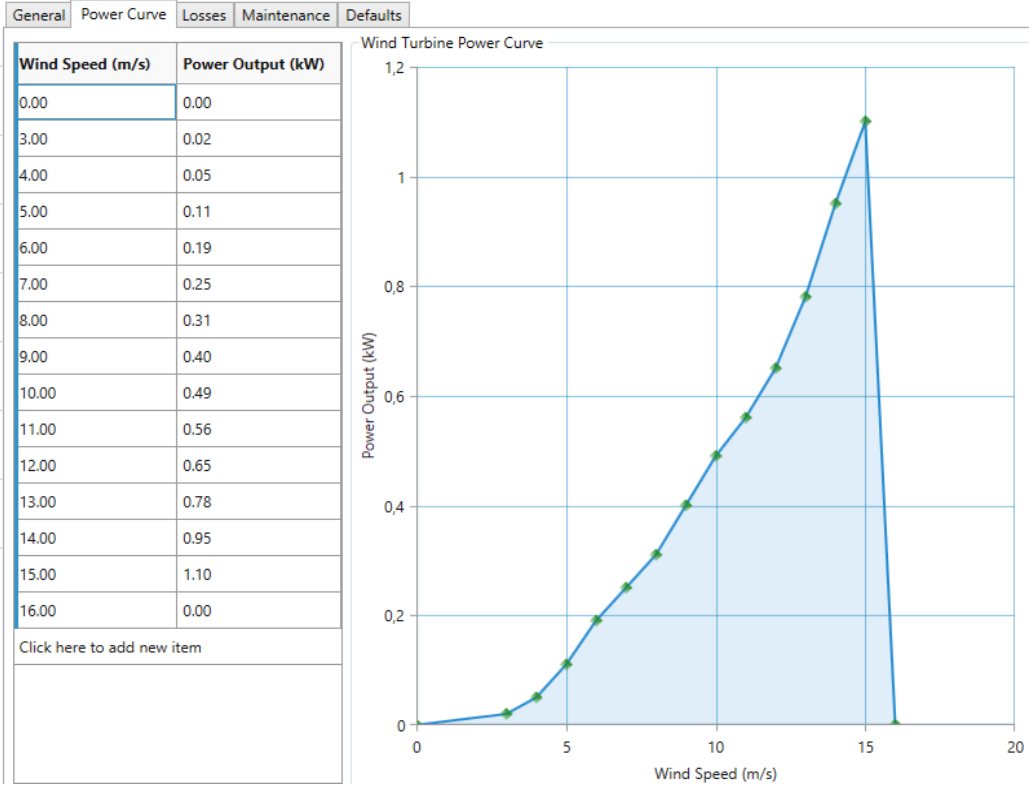
Şekil 3.11. 500 watt Rüzgar türbinin güç eğrisi

IST-700W-12V - this item is in your library.



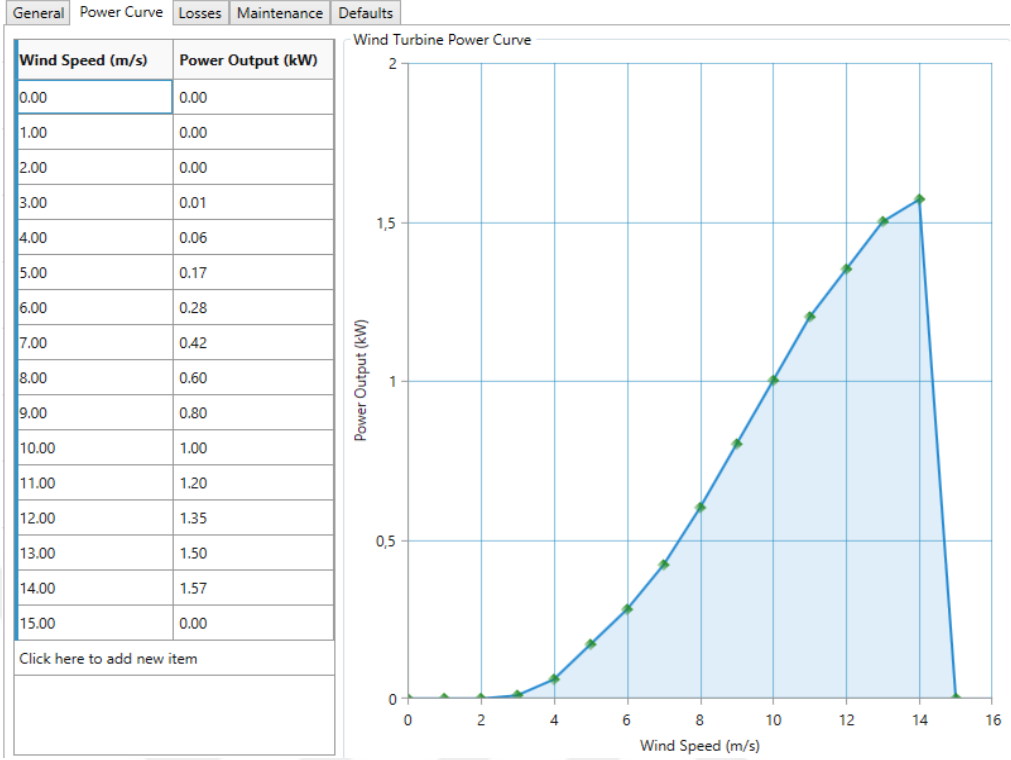
Şekil 3.12. 700 watt rüzgar türbinin güç eğrisi

IST-1000W-24V - this item is in your library.



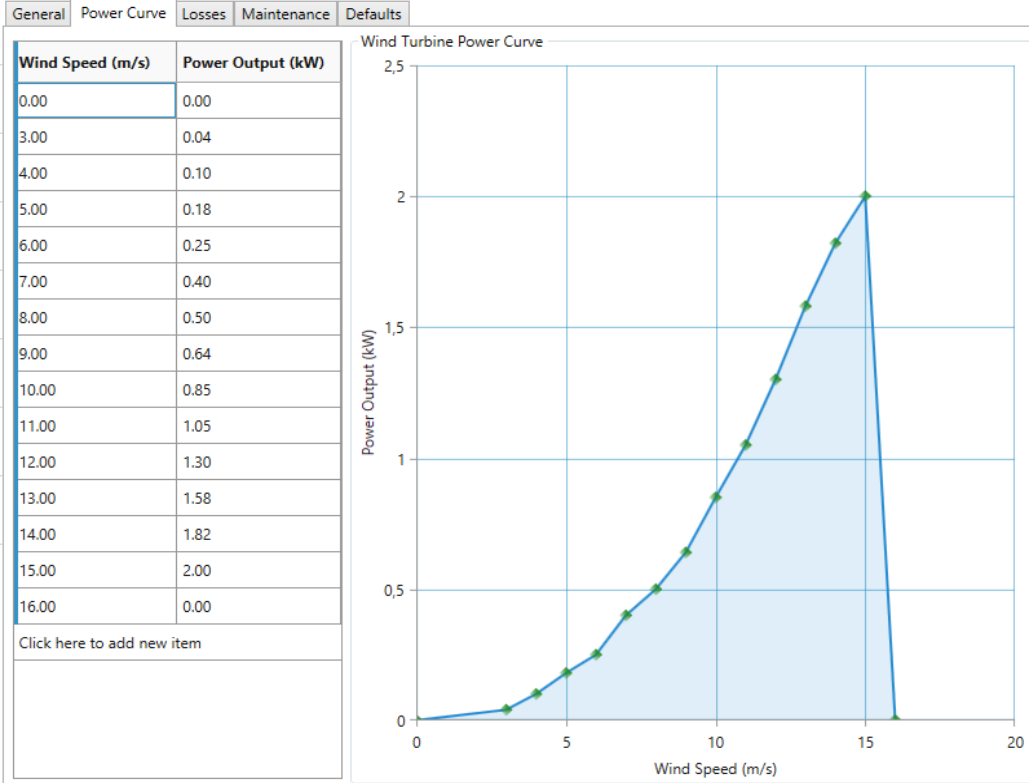
Şekil 3.13. 1000 watt rüzgar türbinin güç eğrisi

IST-1500W-48V - this item is in your library.



Şekil 3.14. 1500 watt rüzgar türbinin güç eğrisi

IST-2000W-48V - this item is in your library.



Şekil 3.15. 2000 watt rüzgar türbinin güç eğrisi

Rüzgar türbinlerinin fiyatları, direk fiyatlarını kapsayacak şekilde belirlenmiştir. Yazılıma girilen değiştirme maliyeti sadece türbin fiyatı iken; sermaye maliyeti türbin ve direk setinin toplam fiyatıdır.

Şekil 3.16'da 500 watt rüzgar türbinin, Şekil 3.17'de 700 watt rüzgar türbininin, Şekil 3.18'de 1000 watt rüzgar türbininin, Şekil 3.19'da 1500 watt rüzgar türbininin, Şekil 3.20'de 2000 watt rüzgar türbininin tanımlanan satış maliyetleri gösterilmiştir. Fiyatlar üreticinin satış sitesinden doğrudan alınmıştır (URL-14).

IST-500W-12V - this item is in your library.

General	Power Curve	Losses	Maintenance	Defaults
Costs				
	Capital	Replacement	O&M	
1	₺3.810,00	₺1.590,00	₺0,0	X

Şekil 3.16. 500 watt rüzgar türbinin maliyeti

IST-700W-12V - this item is in your library.

General	Power Curve	Losses	Maintenance	Defaults
Costs				
	Capital	Replacement	O&M	
1	₺4.810,00	₺2.590,00	₺0,0	X

Şekil 3.17. 700 watt rüzgar türbinin maliyeti

IST-1000W-24V - this item is in your library.

General	Power Curve	Losses	Maintenance	Defaults
Costs				
	Capital	Replacement	O&M	
1	₺6.540,00	₺3.490,00	₺0,0	X

Şekil 3.18. 1000 watt rüzgar türbinin maliyeti

IST-1500W-48V - this item is in your library.

General	Power Curve	Losses	Maintenance	Defaults
Costs				
	Capital	Replacement	O&M	
1	₺7.150,00	₺4.100,00	₺0,0	X

Şekil 3.19. 1500 watt rüzgar türbinin maliyeti

IST-2000W-48V - this item is in your library.

General	Power Curve	Losses	Maintenance	Defaults
Costs				
	Capital	Replacement	O&M	
1	₺7.640,00	₺4.590,00	₺0,0	X

Şekil 3.20. 2000 watt rüzgar türbininin maliyeti

Türkiye’de konutlarda kullanılan elektrik ortalama 220 Volttur. Bu nedenle rüzgar türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisinin 220 volta dönüştürülmesi gerekmektedir. Rüzgar türbinlerinin bulunduğu sistemlere eklenen eviricilerin kapasitesi HOMER yazılımının yakınsadığı üretim kapasitesine göre seçilmiştir.

### **3.3.3.Evirici**

Eviriciler; girişteki DC gerilimi, çıkışta simetrik bir AC gerilim olarak veren dönüştürücülerdir (Toprak ve Akkaya, 2011).

Fotovoltaik sistemlerde üretilen gerilim tipi DC gerilimdir. Bu neden tüketim noktasında AC gerilime ihtiyaç duyulan sistemlerde, üretilen elektriğin kullanılabilir olması için evirici kullanılması gerekmektedir (Sefa ve Altın, 2009).

Fotovoltaik sistemlerde kullanılacak eviriciler; dayanıklı, düşük maliyetli ve kolay kurulabilmelidir. Güneş ışınımı; fotovoltaik panellere günün farklı saatlerinde farklı açı ve şiddetle düşer. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerin elektrik üretimi doğal olarak değişkendir. Bu yüzden fotovoltaik sistemlerde kullanılacak eviriciler, değişken giriş gerilimleri ve güç değerlerinde yüksek verimle çalışabilmelidir. Fotovoltaik sistem şebekeye bağlı olarak kullanılıyorsa; evirici tam sinüs olmalı (Sefa ve Altın, 2009).

Son 10 yılda fotovoltaik sistemlerde kullanılan eviricilerin fiyatları yarı yarıya azalırken verimleri %97’nin üzerine çıkmıştır. Eviriciler fotovoltaik sistemde bir panele veya birden fazla panele bağlanabilir (Sefa ve Altın, 2009).

Bu bilgiler ışığında çalışmada kullanılacak en uygun evirici tipi şebeke bağlantılı, tam sinüs evirici olarak belirlenmiştir. Kapasite ise fotovoltaik sistem kapasitesine göre değişeceği için farklı güçte fotovoltaik sistemler için farklı kapasitede eviriciler kullanılmıştır.

Bu çalışmada değerlendirilen rüzgar türbinlerinin ürettikleri gerilim tipi; rüzgar türbinine göre farklılık göstermektedir. Bazı rüzgar türbinlerin çıkışından AC gerilim, bazı türbinlerinin çıkışından DC gerilim sağlanmaktadır. Bu nedenle rüzgar türbinlerinin ürettiği elektrik enerjisinin kullanılabilir olması için sisteme eviriciler eklenmiştir.

Rüzgar türbini ve fotovoltaik sistemin beraber kullanıldığı enerji sistemlerinde evirici kapasitesi; yüksek güce sahip sistem bileşenine göre belirlenmiştir.

HOMER Grid yazılımının kütüphanesinde bulunan eviriciler; Türkiye’de kolay bulunmamaktadır. Bu nedenle eviricilerin teknik ve ekonomik parametreleri yazılımın kütüphanesine manuel olarak işlenmiştir ve Şekil 3.21’de gösterilmiştir.

Name	Library	Manufacturer	Capacity (kW)	Inverter Efficiency (%)
10.000 watt OnGrid Inv	User	GoodWe	10	95
1000 watt OnGrid Inv	User	GoodWe	1	95
3600 watt OnGrid Inv	User	GoodWe	4	95
5000 watt OnGrid Inv	User	GoodWe	5	95
700 watt OnGrid Inv	User	Meanwell	1	95
8000 watt OnGrid Inv	User	GoodWe	8	95

Şekil 3.21. HOMER Grid evirici kütüphanesi ekran görüntüsü

700 watt, 1.000 watt, 3.600 watt, 5.000 watt, 8.000 watt ve 10.000 watt kapasiteli eviriciler sırasıyla; 900 TL, 3000 TL, 6355 TL, 10900 TL ve 11.590 TL karşılığında tedarik edilebilmektedirler (URL-15).



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Bulguları

Bu tez çalışmasında; rüzgar ve güneş enerjisi kullanan yenilenebilir enerji sistemlerinin farklı kombinasyonları oluşturulmuştur. Tasarlanan enerji sistemleri; birbirleriyle ve sadece şebekeden elektrik tüketiminin olduğu sistem ile karşılaştırılmıştır.

Yenilenebilir enerji sistemleri; ekonomik ve çevresel parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Enerji sistemlerinin ekonomik parametreleri; başlangıç yatırım maliyeti, geri ödeme süresi, net bugünkü değer, enerji birim fiyatı ve çevresel parametreleri; yenilenebilir enerji kullanım oranı ve emisyon miktarı olarak belirlenmiştir.

Başlangıç yatırım maliyeti; enerji sisteminin bileşenlerinin satın alma maliyetleridir. Fotovoltaik sistemin başlangıç yatırım maliyetine; fotovoltaik panel, solar kablo ve ekipmanları, panel taşıyıcı sistemi ve evirici dahildir. Rüzgar enerji sisteminin başlangıç yatırım maliyetine; rüzgar türbini, evirici ve rüzgar türbin direğinin satın alma maliyetleri dahildir.

Geri ödeme süresi; enerji sistemine yapılan yatırımın, sistemin sağladığı fayda sayesinde geri kazanıldığı süredir. Paranın zaman değeri dikkate alınarak hesaplanan geri ödeme süresi; yatırımlar için basit geri ödeme süresinden daha gerçekçi sonuçlar verir. Aynı getiriye sahip yatırımlardan; daha düşük geri ödeme süresine sahip olan yatırım tercih edilmektedir.

Net bugünkü değer; yatırımın ekonomik ömrü göz önüne alınarak hesaplanan, paranın zaman değerini dikkate alan bir ekonomik veridir. Yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağladığı getirinin, yatırım giderlerinden çıkarılmasıyla hesaplanır. Net bugünkü değeri sıfırdan büyük olan yatırımlar; yatırımın toplam maliyetinden daha fazla gelir getirir. Net bugünkü değer hesaplanırken dikkate alınan yatırım giderlerinden biri de sistem bileşenlerinin yenileme maliyetleridir.

Enerji birim fiyatı; yenilenebilir enerji sisteminin şebekeye bağlanmasıyla oluşacak yeni sistemden sağlanan enerjinin birim fiyatıdır. Şebekeden bağımsız sistemlerde; ihtiyaç fazlası elektrik üretiminin ekonomik bir getirisi yoktur. Depolanır ve ihtiyaç duyulduğu zaman tüketilir. Ancak bu çalışmada yer alan şebekeye bağlı enerji sistemlerine; ihtiyaç fazlası üretilen elektrik enerjisinin depolanacağı bir akü sistemi eklenmemiştir. Bunun yerine; şebeke akü gibi kullanılmıştır. İhtiyaç fazla elektrik üretimi olduğu zaman; şebekeye iletilen elektrik enerjisi, belirlenen birim fiyat ile satılmaktadır. Bu sayede; şebekeye bağlı enerji sistemlerinde ihtiyaç fazlası üretim bir gelir kaynağı olmuş ve yatırımın ekonomik parametrelerini olumlu yönde etkilemiştir. Şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinde birim enerji maliyeti; şebekeden elektrik satın almayarak ve şebekeye elektrik satışı yaparak düşürülmektedir. Bu yüzden bazı yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji birim fiyatı negatif olabilmektedir. Bu değer; üretilen her 1 kWh elektrik için kazanılan parayı ifade eder. Birim enerji maliyetinin negatif değer alması; şebekeden hiç elektrik enerjisi satın alınmadığı anlamına gelmez.

Yenilenebilir enerji kullanım oranı; yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin toplam tüketilen elektriğe oranıdır. Şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinde; enerji birim maliyetinin negatif olması durumunda dahi şebekeden elektrik satın alınabilir. Bu nedenle şebeke elektriğini tüketen hiçbir şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sisteminin, yenilenebilir enerji kullanım oranı %100 olamaz.

2018 yılında dünyada üretilen elektriğin %64'ü fosil yakıtlardan üretilmiştir. Türkiye'de ise 2018 yılında üretilen elektriğin %67'si fosil yakıtlarda; %12'si yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmiştir (URL-2). Bu yüzden çoğu nihai elektrik tüketicisinin tükettiği elektrik, sera gazı emisyonuna sahiptir. HOMER yazılımına tanımlanan şebeke verileri ile; şebekeden elektrik enerjisinin tamamını karşılayan konut yıllık 2931,78 ton sera gazına neden olmaktadır. Şebekeye bağlanan yenilenebilir enerji sistemleri sayesinde; bu emisyon miktarları düşürülmüştür.

Şebekenin ve şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinin; ekonomik ve çevresel parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Şebeke ve şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinin bileşenleri, ekonomik ve çevresel parametreleri

Enerji Sisteminin Bileşenleri	Başlangıç Yatırım Maliyeti (TL)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Net Bugünkü Değer (TL)	Enerji Birim Fiyatı (TL/kWh)	Yenilenebilir Enerji Kullanımı (%)	Toplam Emisyon (kg/yıl)
Şebeke	-	-	-35970,73	0,5400	00,00	2.931,78
1 kW Fotovoltaik Sistem	3.700,00	5,35	-28.458,00	0,4140	32,60	2.033,04
5 kW Fotovoltaik Sistem	20.356,00	7,20	-20.365,00	0,1230	76,60	1.517,74
10 kW Fotovoltaik Sistem	38.900,00	9,44	-3.870,38	0,0149	88,10	1.356,70
19 kW Fotovoltaik Sistem	64.900,00	10,01	14.472,00	-0,0354	93,10	1.243,98
0,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
0,7 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
1 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
1,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	8.056,00	18,97	-35.063,70	0,5070	28,40	2.180,98
2 kW Rüzgar Enerji Sistemi	8.540,00	24,36	-35.074,11	0,5107	29,80	2.122,61
1 kW Fotovoltaik Sistem ve 0,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
1 kW Fotovoltaik Sistem ve 0,7 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
1 kW Fotovoltaik Sistem ve 1 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
1 kW Fotovoltaik Sistem ve 1,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	12.590,00	12,57	-30.636,31	0,4020	54,70	1.519,75
1 kW Fotovoltaik Sistem ve 2 kW Rüzgar Enerji Sistemi	13.440,00	12,70	-30.597,90	0,4040	56,30	1.459,36

Tablo 4.1.(Devam) Şebeke ve şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerinin bileşenleri, ekonomik ve çevresel parametreleri

Enerji Sisteminin Bileşenleri	Başlangıç Yatırım Maliyeti (TL)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	Net Bugünkü Değer (TL)	Enerji Birim Fiyatı (TL/kWh)	Yenilenebilir Enerji Kullanımı (%)	Toplam Emisyon (kg/yıl)
5 kW Fotovoltaik Sistem ve 0,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
5 kW Fotovoltaik Sistem ve 0,7 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
5 kW Fotovoltaik Sistem ve 1 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
5 kW Fotovoltaik Sistem ve 1,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	28.15,00	10,72	-18.219,33	0,1120	83,50	1.183,59
5 kW Fotovoltaik Sistem ve 2 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
10 kW Fotovoltaik Sistem ve 0,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
10 kW Fotovoltaik Sistem ve 0,7 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
10 kW Fotovoltaik Sistem ve 1 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
10 kW Fotovoltaik Sistem ve 1,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
10 kW Fotovoltaik Sistem ve 2 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
19 kW Fotovoltaik Sistem ve 0,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
19 kW Fotovoltaik Sistem ve 0,7 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
19 kW Fotovoltaik Sistem ve 1 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
19 kW Fotovoltaik Sistem ve 1,5 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-
19 kW Fotovoltaik Sistem ve 2 kW Rüzgar Enerji Sistemi	-	-	-	-	-	-

Tablo 4.1'de verilen yenilenebilir enerji sistemlerinin tamamı HOMER Grid yazılımında şebekeye bağlı olarak modellenmiştir. Modellenen 29 enerji sisteminden sadece 9 tanesi ekonomik ve çevresel olarak uygulanabilir niteliktedir ve bu enerji sistemlerinin parametreleri tabloda verilmiştir. Tablo 4.1'de ekonomik ve çevresel parametresi verilmeyen 20 tane enerji sistemi ekonomik olarak fayda sağlamadığı için bu enerji sistemlerinden veri alınamamıştır. Bu sistemlerinin şebekeye bağlanması ile oluşturulacak yeni enerji sistemleri tüketici için mevcut şebeke bağlantısından daha elverişsizdir.

Ekonomik ve çevresel olarak uygulanabilir yenilenebilir enerji sistemlerine; 1 kW, 5 kW, 10 kW ve 19 kW fotovoltaik sistemlerin, 1,5 kW ve 2 kW rüzgar türbinlerinin ve 0,7 kW, 1 kW, 3,6 kW, 5 kW, 8 kW ve 10 kW eviricilerin kombinasyonları ile ulaşılmıştır.

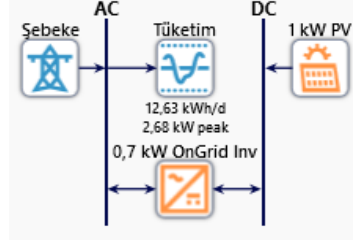
Yer aldığı bütün enerji sistemlerinde fotovoltaik sistem; yılda 4393 saat enerji üreterek birim fiyatı 0,116 TL/kWh olan elektrik üretimi ile sisteme katkı sağlamıştır.

1,5 kW rüzgar türbini yılda 7472 saat enerji üreterek birim fiyatı 0,3540 TL/kWh olan elektrik üretimi ile sisteme katkıda bulunmuştur.

2 kW rüzgar türbini yılda 8759 saat enerji üreterek birim fiyatı 0,3740 TL/kWh olan elektrik üretimi ile sisteme katkıda bulunmuştur.

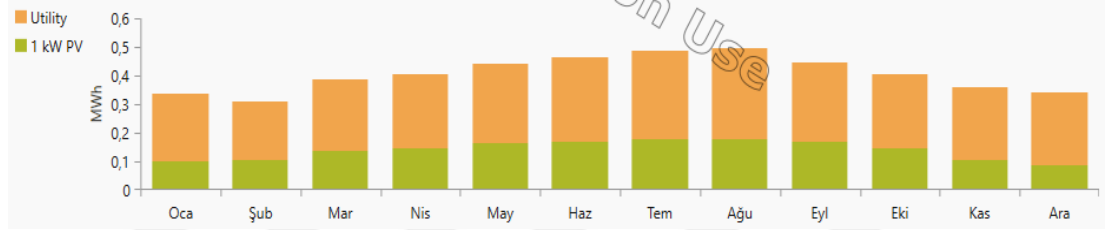
Bu çalışmada yer alan fotovoltaik sistem ve rüzgar türbinlerinin yıllık çalışma süresi ve dolayısıyla ürettikleri enerjinin birim fiyatı, bölgenin iklimsel verilerine özgü değerlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları coğrafi olarak farklılık gösterdiği için bu kaynakları kullanan enerji sistemlerinin üretim miktarları da iklimsel koşullara göre farklılık gösterir. Aynı kapasitedeki rüzgar türbini Türkiye'nin kıyı bölgelerinde daha düşük birim fiyata sahip elektrik üretirken, daha düşük rüzgar hızına sahip bir bölgede daha az enerji üreterek daha yüksek birim fiyatlı elektrik üretir.

Şekil 4.1'de şeması gösterilen enerji sistemi; 1 kW fotovoltaik sistem ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 5,35 yıl ile en kısa geri ödeme süresine ve 3.700 TL ile en düşük başlangıç yatırım maliyetine bu enerji sisteminde ulaşılmıştır. Birim enerji maliyeti 0,4140 TL/kWh olan bu sistemin net bugünkü değeri -28.458,00 TL olmuştur.



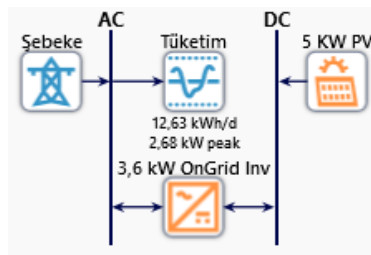
Şekil 4.1. Şebekeye bağlı 1 kW fotovoltaik enerji sisteminin şeması

Şekil 4.2'de aylık ortalama elektrik üretiminin kaynaklara göre gösterildiği bu enerji sisteminin ihtiyaç fazlası enerji üretim oranı %0,89 ve yenilenebilir enerji kullanım oranı %32,60 olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik enerji sisteminin bütün sistemin üretimine katkısı %34,40 olmuştur ve sistemin yıllık emisyon miktarı 2.033,04 kg'dır.



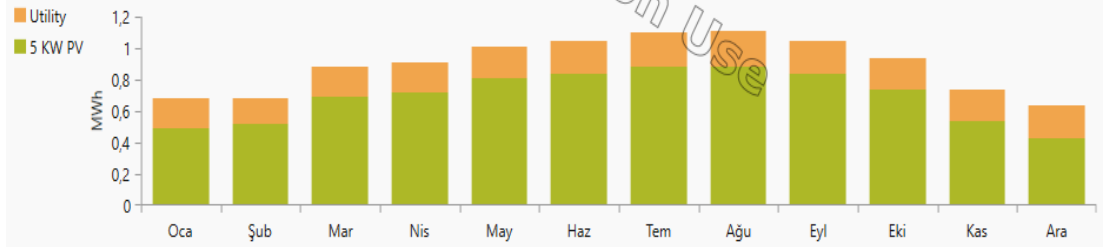
Şekil 4. 2. Şebekeye bağlı 1 kW fotovoltaik enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

Şekil 4.3'te şeması gösterilen enerji sistemi; 5 kW fotovoltaik sistem ve 3,6 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 7,20 yıl geri ödeme süresi ve 20.356 TL başlangıç yatırım maliyeti olan bu sistemin ürettiği enerjinin birim fiyatı 0,1230 TL/kWh olarak hesaplanmıştır.



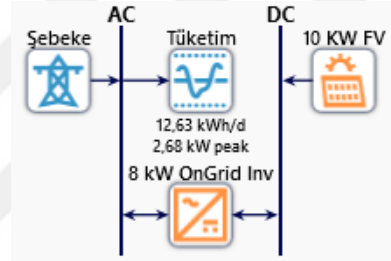
Şekil 4. 3. Şebekeye bağlı 5 kW fotovoltaik enerji sisteminin şeması

Şekil 4.4'te aylık ortalama elektrik üretiminin kaynaklara göre gösterildiği bu enerji sisteminin ihtiyaç fazlası enerji üretim oranı %1,54 olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik enerji sisteminin bütün sistemin üretimine katkısı %77,80 olmuştur.



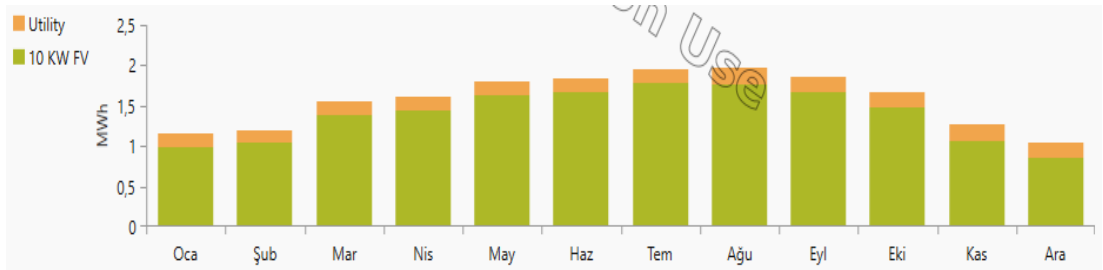
Şekil 4. 4. Şebekeye bağlı 5 kW fotovoltaik enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

Şekil 4.5'te şeması gösterilen enerji sistemi; 10 kW fotovoltaik sistem ve 8 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 9,44 yıl geri ödeme süresi ve 38.900 TL başlangıç yatırım maliyeti olan sistemin; net bugünkü değeri -3.870,38 TL ve ürettiği enerjinin birim fiyatı 0,0149 TL/kWh olarak hesaplanmıştır.



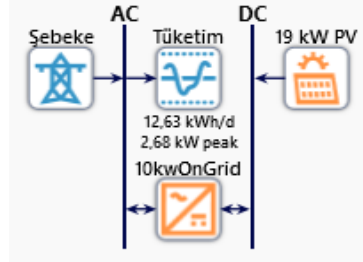
Şekil 4. 5. Şebekeye bağlı 10 kW fotovoltaik enerji sisteminin şeması

Şekil 4.6'da aylık ortalama elektrik üretiminin kaynaklara göre gösterildiği bu enerji sisteminin ihtiyaç fazlası enerji üretim oranı %0,43 ve yenilenebilir enerji kullanım oranı %88,10 olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik enerji sisteminin bütün sistemin üretimine katkısı %88,70, yıllık emisyon miktarı 1.356,70 kg olmuştur.



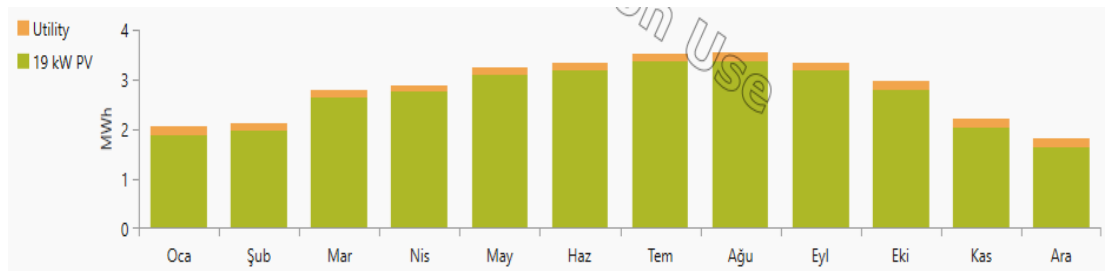
Şekil 4. 6. Şebekeye bağlı 10 kW fotovoltaik enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

Şekil 4.7’de şeması gösterilen enerji sistemi; 19 kW fotovoltaik sistem ve 10 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 10,01 yıl geri ödeme süresi ve 64.900 TL başlangıç yatırım maliyeti olan bu sistemin ürettiği enerjinin birim fiyatı modellenen tüm enerji sistemleri arasında en düşük değerdir. 14.472 TL ile en yüksek net bugünkü değere ve en düşük enerji birim fiyatına sahip bu yenilenebilir enerji sistemi ile üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti -0,0354 TL/kWh’tir.



Şekil 4. 7. Şebekeye bağlı 19 kW fotovoltaik enerji sisteminin şeması

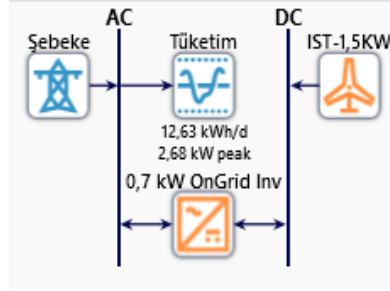
Değerlendirilen bütün enerji sistemleri arasında en yüksek yenilenebilir enerji kullanım oranına, en düşük emisyon miktarına ve en yüksek ihtiyaç fazlası enerji üretim oranına, Şekil 4.8’de aylık üretim miktarı verilen bu enerji sisteminde ulaşılmıştır. Sistemin ihtiyaç fazlası enerji üretim oranı %12,30, yıllık emisyon miktarı 1243,98 kg ve yenilenebilir enerji kullanım oranı %93,10 olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistemin üretime katkısı %94,20 olmuştur.



Şekil 4. 8. Şebekeye bağlı 19 kW fotovoltaik enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

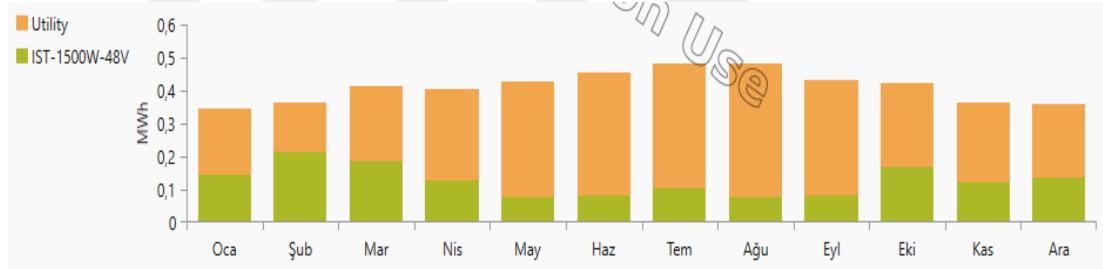
Şekil 4.9’da şeması gösterilen enerji sistemi; 1,5 kW rüzgar türbini ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 18,97 yıl geri ödeme süresi ve 8.056 TL başlangıç yatırım maliyeti olan bu sistemin ürettiği enerjinin birim fiyatı 0,5070 TL/kWh olarak hesaplanmıştır.





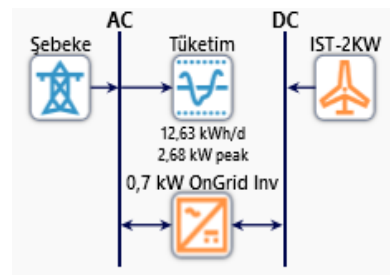
Şekil 4. 9. Şebekeye bağlı 1,5 kW rüzgar enerji sisteminin şeması

Şekil 4.10'da aylık ortalama elektrik üretimi kaynaklara göre gösterilen bu enerji sistemi; yıllık 2180,98 kg emisyon ve %28,40 yenilenebilir enerji kullanım oranıyla en az çevresel fayda sağlayan sistem olmuştur. İhtiyaç fazlası elektrik üretimi %1,90 olan enerji sisteminin elektrik üretimine 1,5 kW rüzgar türbininin katkısı %30,80 olarak hesaplanmıştır.



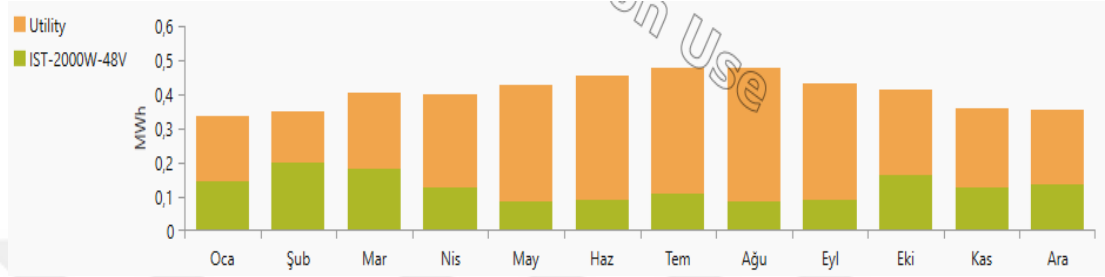
Şekil 4. 10. Şebekeye bağlı 1,5 kW rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

Şekil 4.11'de şeması gösterilen enerji sistemi; 2 kW rüzgar türbini ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 24,36 yıl ile en uzun geri ödeme süresine, -35.075,11 TL ile en düşük net bugünkü değere ve 0,5107 TL/kWh ile en pahalı enerji birim fiyatına sahip olan bu enerji sistemi, ekonomik olarak en elverişsiz sistem olmuştur.



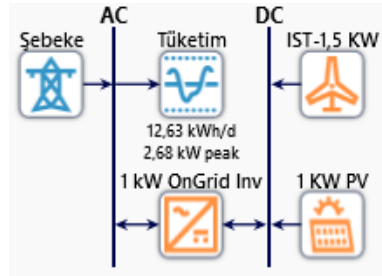
Şekil 4. 11. Şebekeye bağlı 2 kW rüzgar enerji sisteminin şeması

Şekil 4.12’de aylık ortalama elektrik üretiminin kaynaklara göre gösterimi verilen enerji sistemi; %29,80 yenilenebilir enerji kullanım oranına ve %1,22 oranında ihtiyaç fazlası enerji üretimine ve yıllık 2.122,61 kg emisyon miktarına sahiptir. Rüzgar türbininin toplam elektrik üretimine katkısı %31,70’dir ve değerlendirilen enerji sistemleri arasında rüzgar türbininin üretime olan katkısının en yüksek olduğu sistem bu enerji sistemi olmuştur.



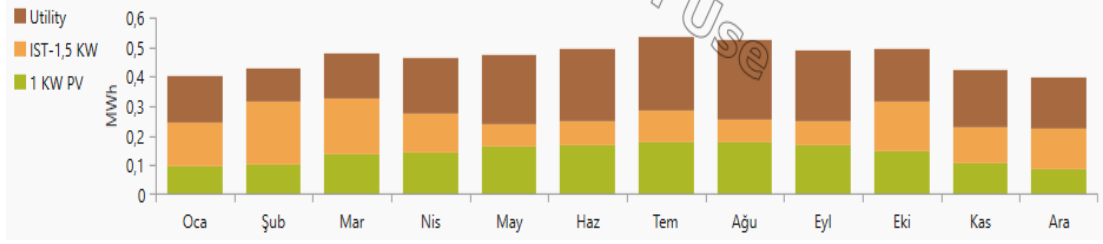
Şekil 4. 12. Şebekeye bağlı 2 kW rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

Şekil 4.13’te şeması gösterilen enerji sistemi; 1 kW fotovoltaik sistem, 1,5 kW rüzgar türbini ve 1 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 12,57 yıl geri ödeme süresine ve 12.590 TL başlangıç yatırım maliyeti olan bu sistemin ürettiği enerjinin birim fiyatı 0,4020 TL/kWh olarak hesaplanmıştır.



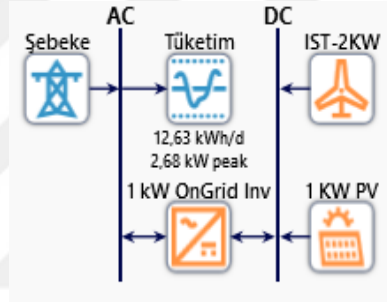
Şekil 4. 13. Şebekeye bağlı 1 kW fotovoltaik sistem ve 1,5 kW rüzgar enerji sisteminin şeması

Şekil 4.14’te aylık ortalama elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı gösterilen sistemin yenilenebilir enerji kullanım oranı %54,70’tir. Fotovoltaik sistemin %30 oranında üretime katkı sağladığı sistem; en düşük fotovoltaik sistem katkı oranına sahiptir. Rüzgar türbininin ise %27,30 oranında üretime katkı sağladığı enerji sisteminin ihtiyaç fazlası enerji üretim oranı %2,88 ve yıllık toplam emisyon miktarı 1.519,75 kg olmuştur.



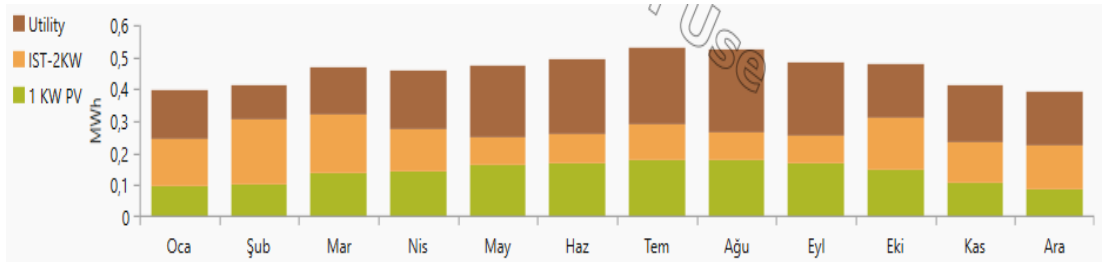
Şekil 4. 14. Şebekeye bağlı 1 kW fotovoltaik sistem ve 1,5 kW rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

Şekil 4.15'te şeması gösterilen enerji sistemi; 1 kW fotovoltaik sistem, 1,5 kW rüzgar türbini ve 1 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 12,7 yıl geri ödeme süresine ve 13.440 TL başlangıç yatırım maliyeti olan bu sistemin ürettiği enerjinin birim fiyatı 0,4040 TL/kWh ve net bugünkü değeri -30.597,90 TL olarak hesaplanmıştır.



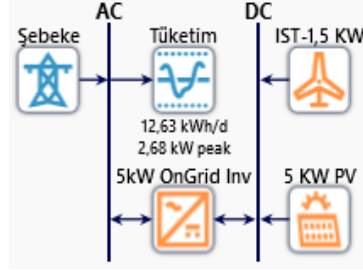
Şekil 4. 15. Şebekeye bağlı 1 kW fotovoltaik sistem ve 2 kW rüzgar enerji sisteminin şeması

Şekil 4.16'da aylık ortalama elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı gösterilen sistemin yenilenebilir enerji kullanım oranı %56,30'dur. Fotovoltaik sistemin %30,30 oranında, rüzgar türbininin ise %28,10 oranında üretime katkı sağladığı sistemin ihtiyaç fazlası üretim oranı %2,14 ve yıllık emisyon miktarı 1.459,36 kg olmuştur.



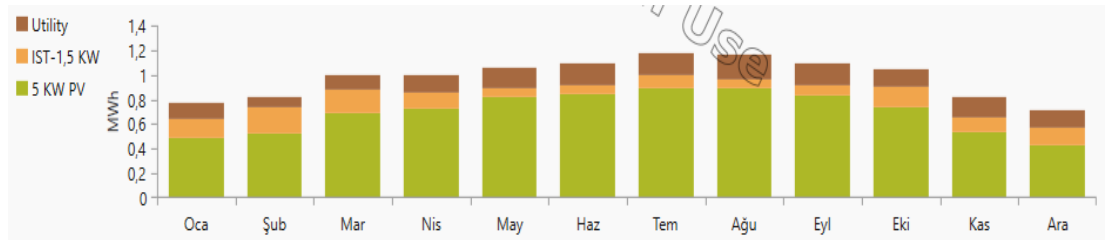
Şekil 4. 16. Şebekeye bağlı 1 kW fotovoltaik sistem ve 2 kW rüzgar enerji sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

Şekil 4.17’de şeması gösterilen enerji sistemi; 5 kW fotovoltaik sistem, 1,5 kW rüzgar türbini ve 5 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. 10,72 yıl geri ödeme süresine ve -18.219,33 TL net bugünkü değere sahip olan sistemin birim enerji maliyeti 0,1120 TL/kWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 17. Şebekeye bağlı 5 kW fotovoltaik sistem ve 1,5 kW rüzgar enerjisi sisteminin şeması

Şekil 4.18’de aylık ortalama elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı gösterilen sistemin yenilenebilir enerji kullanım oranı %83,50dir. Fotovoltaik sistemin %71,20 oranında, rüzgar türbininin %13,00 oranında katkı sağladığı sisteminin ihtiyaç fazlası enerji üretim oranı %0,05 olarak hesaplanmıştır. Bu enerji sistemi, değerlendirilen sistemler arasında; rüzgar türbininin en düşük katkı oranına ve en düşük ihtiyaç fazlası enerji üretim oranına sahiptir.



Şekil 4. 18. Şebekeye bağlı 5 kW fotovoltaik sistem ve 1,5 kW rüzgar enerjisi sisteminin aylık ortalama üretim miktarının kaynaklara göre gösterimi

En kısa geri ödeme süresine sahip olan sistem 1 kW fotovoltaik sistemin ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanması ile oluşturulmuştur. Bu enerji sisteminin birim enerji maliyeti; şebekenin elektrik birim fiyatından %23,33 daha düşüktür. 1 kW fotovoltaik sistem ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla yıllık emisyon miktarının %30,66 azalacağı görülmüştür.

En yüksek net bugünkü değere, en düşük birim enerji maliyetine, en yüksek yenilenebilir enerji kullanım oranına ve en düşük yıllık emisyon miktarına sahip olan sistem; 19 kW fotovoltaik sistem ve 10 kW eviricinin şebekeye bağlanması ile oluşturulmuştur. Bu enerji sisteminin birim enerji maliyeti, şebeke elektriğinin birim fiyatından %106,55 daha düşüktür. 19 kW fotovoltaik sistem ve 10 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla yıllık emisyon miktarı %57,57 oranında azaltılmıştır.

En uzun geri ödeme süresine, en düşük net bugünkü değere ve en yüksek birim enerji maliyetine sahip olan sistem; 2 kW rüzgar türbini ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Bu enerji sisteminin birim enerji maliyeti, şebeke elektriğinin birim fiyatından %5,43 daha düşüktür. 2 kW rüzgar türbini ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla yıllık emisyon miktarının %27,60 azalacağı görülmüştür.

En düşük yenilenebilir enerji kullanım oranına ve en yüksek emisyon değerine sahip olan enerji sistemi; 1,5 kW rüzgar türbini ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Bu sistemin enerji birim maliyeti, şebeke elektriğinin birim fiyatından %6,11 daha düşüktür. 1,5 kW rüzgar türbini ve 0,7 kW eviricinin şebekeye bağlanmasıyla yıllık emisyon miktarı %25,61 azalmaktadır.

#### **4.2. Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırılması**

Fotovoltaik enerji sistemlerinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulan sistemler, ekonomik ve çevresel nicelikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırılan sistemler; 1 kW, 5 kW, 10 kW ve 19 kW fotovoltaik sistemin ve farklı kapasitelerdeki eviricilerin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulan sistemlerdir.

Şebekeye bağlanan fotovoltaik enerji sisteminin üretim kapasitesi arttıkça sistemin; geri ödeme süresi ve net bugünkü değer artmış, enerji birim fiyatı düşmüştür. Başlangıç yatırım maliyetinin ve geri ödeme süresinin artmasına karşın; net bugünkü değerdeki artış ve enerji birim fiyatındaki düşüş, sistemin ekonomik olarak daha avantajlı olmasını sağlamıştır.

Sistemin kapasitesi arttıkça yenilenebilir enerji kullanım oranı artmış ve yıllık toplam emisyon miktarı düşmüştür.

Fotovoltaik sistem gücündeki 10 kat artış; geri ödeme süresini 4,09 yıl azaltmış, birim enerji maliyetini 0,3991 TL/kWh düşürmüş, yenilenebilir enerji kullanım oranını %55,5 artırmış ve yıllık emisyon miktarını %33,27 oranında azaltmıştır.

Fotovoltaik sistemlerin şebekeye bağlantısıyla oluşturulan sistemlerde fotovoltaik sistem kapasitesinin artması; oluşturulan sistemin çevresel etkilerini iyileştirmiş ve yatırımcı için daha karlı hale gelmesini sağlamıştır.

#### **4.3. Rüzgar Enerji Sistemlerinin Karşılaştırılması**

Rüzgar enerjisi sistemlerinin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulan sistemler, ekonomik ve çevresel nicelikleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan enerji sistemleri; 1,5 kW ve 2 kW rüzgar türbini ve aynı kapasitedeki eviricilerin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulan sistemlerdir.

Rüzgar türbinlerinin gücü arttıkça; başlangıç yatırım maliyeti, geri ödeme süresi, net bugünkü değer ve enerji birim fiyatı artmıştır.

Rüzgar türbinlerindeki güç artışı, yenilenebilir enerji kullanım oranında ve toplam emisyon miktarında çok az artış sağlamıştır.

1,5 kW yerine 2 kW gücündeki rüzgar türbininin kullanılması; geri ödeme süresini 5,39 yıl uzatmış, birim enerji maliyetini 0,0037 TL/kWh artırmış, yenilenebilir enerji kullanımını %1,40 artırmış ve yıllık emisyon miktarını %2,67 oranında düşürmüştür.

Rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlantısıyla oluşturulan sistemlerde rüzgar türbini gücünün artması; başlangıç yatırım maliyetindeki artışı karşılayacak kadar bir üretim artışı sağlamadığı için sistemin ekonomik açıdan uygulanabilirliğini azaltmıştır.

#### **4.4. Hibrit Enerji Sisteminde Fotovoltaik Kapasitenin Etkisi**

Aynı kapasitede rüzgar türbinine sahip şebeke bağlantılı hibrit rüzgar-güneş enerji sistemleri ekonomik ve çevresel nicelikleri bakımından değerlendirilmiştir.

Karşılaştırılan enerji sistemleri 1,5 kW rüzgar türbininin, farklı kapasitedeki eviricilerin, 1 kW ve 5 kW gücündeki fotovoltaik sistemlerin şebekeye bağlanması ile oluşturulan sistemlerdir.

Hibrit rüzgar-güneş enerji sisteminde; fotovoltaik kapasitenin artması; geri ödeme süresi ve enerji birim maliyetinin düşürürken sistemin net bugünkü değerinde artış sağlamıştır. Çevresel açıdan ise; yenilenebilir enerji kullanım oranını artırmış ve toplam emisyon miktarını düşürmüştür.

1 kW yerine 5 kW gücündeki fotovoltaik sistemin kullanılması; geri ödeme süresini 1,85 yıl kısaltmış, birim enerji maliyetini 0,29 TL/kWh düşürmüş, yenilenebilir enerji kullanım oranını %28,80 artırmış ve toplam emisyon miktarını %22,11 oranında düşürmüştür.

Aynı kapasitede rüzgar türbinine sahip hibrit rüzgar-güneş enerji sistemlerinde fotovoltaik kapasitenin artması; sistemi hem ekonomik hem de çevresel nicelikler bakımından iyileştirmiştir.

#### **4.5. Hibrit Enerji Sisteminde Rüzgar Türbin Gücünün Etkisi**

Aynı kapasitede fotovoltaik sisteme sahip şebeke bağlantılı hibrit rüzgar-güneş enerji sistemleri ekonomik ve çevresel nicelikleri bakımından değerlendirilmiştir.

Karşılaştırılan sistemler; 1 kW fotovoltaik sistemin ve aynı kapasitedeki eviricilerin, 1,5 kW ve 2 kW gücündeki rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlanması ile oluşturulan sistemlerdir.

Şebeke bağlantılı hibrit rüzgar-güneş enerji sistemlerinde rüzgar türbinlerinin gücünün artması; geri ödeme süresinin ve enerji birim fiyatının artmasına, net bugünkü değer düşmesine neden olurken yenilenebilir enerji kullanım oranının artmasına ve yıllık emisyon miktarının azalmasına neden olmuştur.

Rüzgar türbini gücündeki 0,5 kW artış; geri ödeme süresini 0,13 yıl uzatmış, enerji birim maliyetini 0,0020 TL/kWh artırmış, yenilenebilir enerji kullanım oranını %1,60 oranında artırırken yıllık emisyon miktarını %3,97 oranında azaltmıştır.

Modellenen hibrit rüzgar-güneş enerji sistemlerinde rüzgar türbininin gücünün artması sistemin çevresel etkilerini az miktarda iyileştirirken ekonomik açıdan da az farkla elverişsiz olmasına neden olmuştur.

#### **4.6. Fotovoltaik Sisteme Rüzgar Enerji Sistemi Eklenmesinin Etkisi**

Şebekeye bağlı fotovoltaik enerji sistemine; fotovoltaik kapasite sabit kalırken rüzgar türbininin eklenmesi değerlendirilmiştir. 1 kW fotovoltaik sistem ile 1 kW fotovoltaik sistem ve 1,5 kW rüzgar türbininin şebekeye bağlanması karşılaştırılmıştır. Bu durumda geri ödeme süresi 7,22 yıl artmış, enerji birim fiyatı 0,0120 TL/kWh azalmış, yenilenebilir enerji kullanım oranı %22,1 artmış ve yıllık emisyon miktarı %25,25 oranında azaltılmıştır. Bu sistem değişikliğinde rüzgar türbini kapasitesi ile evirici kapasitesi değişmiştir. Sistemdeki ekonomik niceliklerin değişimi sadece rüzgar türbini kaynaklı olmadığı için geri ödeme süresi ve enerji birim maliyetindeki değişimler doğrudan türbin kapasitesi ile yorumlanamaz.

#### **4.7. Rüzgar Enerji Sistemine Fotovoltaik Sistem Eklenmesinin Etkisi**

Şebekeye bağlı rüzgar enerjisi sistemine; rüzgar türbininin gücü sabit kalırken fotovoltaik sistemin eklenmesi değerlendirilmiştir. 2 kW rüzgar enerji sistemi ile 2 kW rüzgar enerji sistemi ve 1 kW fotovoltaik sistemin şebekeye bağlanması karşılaştırılmıştır. Fotovoltaik sistemin eklenmesiyle; geri ödeme süresi 11,66 yıl kısalmış, birim enerji maliyeti 0,1067 TL/kWh azalmış, yenilenebilir enerji kullanım oranı %26,50 artmış ve emisyon miktarı %31,25 oranında azaltılmıştır. Enerji sistemine fotovoltaik sistemin eklenmesiyle evirici kapasitesi de artırılmıştır. Bu nedenle geri ödeme süresi ve birim enerji maliyetindeki değişiklik doğrudan fotovoltaik kapasitesi ile yorumlanamaz.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fosil enerji kaynakların yeraltından çıkarılması, tüketim noktalarına iletilmesi, tüketimi ve oluşturduğu atıklar; ekonomik ve çevresel olarak oldukça yıkıcıdır. Dünyanın mevcut nüfusunun ve enerji talebinin sabit kalması durumunda bile uygulanabilir ve çevre dostu olmayan bu kaynakların kullanılmaya devam edilmesi; geri dönüşü olmayan bir iklim krizine ve canlı çeşitliliğinde kıyımaya neden olacaktır. Dünyanın enerji üretim ve tüketim alışkanlıklarında köklü bir değişikliğe gitmesi, daha düşük alan kullanımına ve sera gazı emisyonuna sahip enerji üretim teknolojilerine yönelmesi zorunludur. Elektrik enerjisi tüketiminde dünya genelinde de ciddi bir paya sahip olan konutlar; sera gazı emisyonlarına, doğal yaşam alanlarının yok olmasına ve dolayısıyla küresel iklim değişikliğine ciddi katkı sağlamaktadır.

Çoğunlukla fosil yakıtlardan üretilen şebeke elektriğini kullanan konutların; tükettikleri elektrik enerjisinin şebekeye bağlı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması, yıllık emisyon miktarlarında düşüş sağlamıştır.

Aydın ilinin güneş enerjisi üretim potansiyeli sayesinde, şebekeye bağlı bütün yenilenebilir enerji sistemlerinde, fotovoltaik sistemin gücünün artırılması; sistemi ekonomik ve çevresel olarak daha faydalı hale gelmiştir.

Bu çalışma; kırsal bir yerleşim yerini kapsadığı için yaklaşık 3 katlı bina yüksekliğine denk gelen 10 metrelik rüzgar türbinleri kullanılmıştır. Şebekeye bağlı rüzgar enerjisi sistemlerinde; rüzgar türbinlerinin gücünün artması ile rüzgar enerjisinden üretilen elektrik miktarı artmıştır. Ancak yatırım maliyetinin de artmasına neden olan bu güç artışı; ekonomik olarak faydalı bir üretim sağlayamamıştır. Şebekeye bağlı fotovoltaik enerji sistemine rüzgar türbinin eklenmesi ise; sistemin sadece geri ödeme süresini uzatırken diğer tüm ekonomik ve çevresel niceliklerini iyileştirmiştir.

Bu bölgede rüzgar enerji sistemlerine yapılacak yatırımların ekonomik olarak uygulanabilirliği; rüzgar türbinlerinin üretim miktarının artmasıyla veya rüzgar türbinlerinin başlangıç yatırım maliyetlerinin düşmesiyle artırılabilir. Rüzgar türbinlerinin üretim miktarının artması için; türbinlerin yüksekliği artırılabilir veya gelişen teknoloji ile daha yüksek kapasite faktörüne sahip rüzgar türbinleri kullanılabilir.

Aydın ili özelinde; en uygun çevresel ve ekonomik çıktıları veren sistem 19 kW fotovoltaiik sistemin şebekeye bağlanmasıyla elde edilmiştir. Ancak bu sistemin başlangıç yatırım maliyeti 64.900 TL olarak hesaplanmıştır. Bu başlangıç yatırım maliyeti; konutun yaklaşık 26 yıllık elektrik faturasına denk bir değerdedir. Değerlendirilen enerji sistemleri arasında en düşük üçüncü enerji birim fiyatına sahip olan sistem ise 28.150 TL başlangıç yatırım maliyetine sahip olan hibrit enerji sistemidir. Optimum hibrit enerji sisteminin enerji birim fiyatı 0,1120 TL/kWh ve yenilenebilir enerji kullanım oranı %83,50 olarak hesaplanmıştır. En düşük enerji birim fiyatına sahip olan sistemden %57 daha düşük başlangıç yatırım maliyetine sahip olan hibrit enerji sistemi; konut tipi elektrik tüketicisi için daha uygulanabilir olabilmektedir. Hibrit enerji sisteminin şebekeye bağlanmasıyla konutun enerji birim fiyatının yaklaşık %80 oranında azalacağı öngörülmüştür.

Yenilenebilir enerji sistemlerine yapılacak olan yatırımların ekonomik olarak daha uygulanabilir olması için sistemin net bugünkü değerinin artması gerekmektedir. Net bugünkü değer artması için; başlangıç yatırım maliyetinin düşmesi, şebekeye satılan elektrik birim fiyatının artması ve ekipman yenileme, bakım, onarım maliyetlerinin azalması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin başlangıç yatırım maliyetinin düşmesi; yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesi ve yenilenebilir enerji sistemlerinin ekipmanlarının Türkiye'deki üretiminin artırılması ile mümkündür. Türkiye'de yenilenebilir enerji sistemlerinin üretimi arttıkça; satın alma, yenileme, bakım ve onarım maliyetleri düşecektir.

Elektrik tedarikçisi firmanın yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriği satın alma birim fiyatının artması; yenilenebilir enerji sistemlerinin geri ödeme süresini kısaltır ve sistemin net bugünkü değerini artırarak daha karlı hale gelmesini sağlar.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin çevresel faydalarının artması için yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi daha ekonomik hale getirilmelidir. Yatırımcının sistemden elde edeceği ekonomik fayda arttıkça yenilenebilir kaynakların kullanımı da artacaktır.

Yenilenebilir kaynakların sunduğu çevresel avantajların dünya çapında etkisinin olması; bu enerji sistemlerinin ekonomik olarak daha karlı hale gelmesiyle mümkündür.

## KAYNAKLAR

Al-Ghussain L., Ahmed H., Haneef F., Optimization of Hybrid PV-Wind System: Case Study Al-Tafilah Cement Factory, Jordan, *Sustainable Energy Technologies and Assesments*, 2018, **30**(August), 24-36.

Amer M., Namaane A., Sirdi N., Optimization of Hybrid Renewable Energy Systems (HRES) Using PSO for Cost Reduction, *Energy Procedia*, 2013, **42**, 318-327.

Anoune K., Bouya M., Astito A., Abdellah A., Sizing Methodologies and Optimization Techniques for PV-Wind Based Hybrid Renewable Energy System: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, **93**(May), 652-673.

Baneshi M., ve Hadianfard, F., Techno-economic Feasibility of Hybrid Diesel/PV/Wind/Battery Electricity Generation Systems for Non-residential Large Electricity Consumers Under Southern Iran Climate Conditions, *Energy Conversion and Management*, 2016, **127**, 233-244.

Bhandari B., Lee K., Lee G., Cho Y., Ahn S., Optimization of Hybrid Renewable Power Systems: a Review, *Internation Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Green Technology*, 2015, **2**(1), 99-112.

Bourennani F., Rahnamayan S., Naterer G., Optimal Design Methods for Hybrid Renewable Energy Systems, *International Journal of Green Energy*, 2015, **12**(2), 148-159.

BP Statistical Review of World Energy 2018, *BP P.L.C.*, 68, 8, 2019.

Chauhan A., Saini R., A Review on Integrated Renewable Energy System Based Power Generation for Stand-alone Applications: Configurations, Storage Options, Sizing Methodologies and Control, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, **38**, 99-120.

Çanka Kılıç F., Evaluation of Solar Energy, Its Present Status, Potentials and The Latest Developments in Turkey, *Internation Journal of Ecosystems and Ecology Science*, 2016, **6**(3), 415-424.

Çanka Kılıç F., Geothermal Energy in Turkey, *Energy & Environment*, 2016, **27**(3-4), 360-376.

Çanka Kılıç F., Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, *Mühendis ve Makine*, 2015, 56(671), 28-40.

Çanka Kılıç F., Kaya D., Energy Production, Consumption, Policies and Recent Developments in Turkey, *Renewable and Sustianable Energy Reviews*, 2007, **11**(6), 1312-1320.

Çanka Kılıç F., Recent Renewable Energy Developments Studies, Incentives in Turkey, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 2011, **28**(1), 37-54.

Çanka Kılıç F., Wind Energy and Its Status in Turkey, *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*, 2018, **8**(1), 11-24.

Çelebi G., Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2002, **17**(3), 17-33.

Diaf S., Notton G., Belhamel M., Haddadi M., Louche A., Design and Techno-economical Optimization for Hybrid PV/Wind System Under Various Meteorological Conditions, *Applied Energy*, 2008, **85**, 968-987.

Dufo-Lopez R., Bernal-Agustin L., Yusta-Loyo J., Dominguez-Navarro J., Ramirez-Rosado I., Lujano J., Aso I., Multi-objective Optimization Minimizing Cost and Life Cycle Emissions of Stand-Alone PV-Wind-Diesel Systems with Batteries Storage, *Applied Energy*, 2011, **88**, 4033-4041.

Dursun B., Altay A., A Green University Library Based on Hybrid PV/Wind/Battery System, *International Journal of Energy and Environment*, 2018, **9**(6), 549-562.

Elhadidy M., Shaahid S., Promoting Applications of Hybrid (Wind + Photovoltaic + Diesel + Battery) Power Systems in Hot Regions, *Renewable Energy*, 2003, **29**, 517-528.

Fadaee M., Radzi M., Multi-objective Optimization of Stand-alone Hybrid Renewable Energy System by Using Evolutionary Algorithms: a Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, **16**(5), 3364-3369.

Fazelpour F., Soltani, N., ve Rosen, M., Economic Analysis of Standalone Hybrid Energy Systems for Application in Tehran, Iran, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, **41**(19), 7732-7743.

Gonzalez A., Riba J., Rius A., Puig R., Optimal Sizing of a Hybrid Grid-connected Photovoltaic and Wind Power System, *Applied Energy*, 2015, **154**, 752-762.

Günümüzde Nükleer Enerji, *Türkiye Atom Enerjisi Kurumu*, 5-78, 2010.

Hasan M., Chowdhury N., Hossain C., Longo M., State of Art on Possibility & Optimization of Solar PV-Wind Hybrid System, *1st International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, Dhaka, Bangladeş, 10-12 Ocak 2019.

Ismail M., Moghavvemi, M., ve Mahlia, T., Genetic Algorithm Based Optimization on Modeling and Design of Hybrid Renewable Energy Systems, *Energy Conversion and Management*, 2014, **85**, 120-130.

Iweh C., Marius L., Design of a Hybrid Wind-Solar Energy System for an Agro-industrial Residenatial Area in Bota-Limbe, *Journal of Energy and Power Engineering*, DOI: 10.17265/1934-8975/2019.06.003.

Jaszczur M., Hassan Q., Palej P., An Optimisation of the Hybrid Renewable Energy Systems, *Sustainable Polyenergy Generation and Harvesting*, Online, 4-6 Eylül 2019.

Kaabeche A., Belhamel M., Ibtouen R., Sizing Optimization of Grid-Independent Hybrid Photovoltaic/Wind Power Generation System, *Energy*, 2011, **36**(2), 1214-1222.

Khatib T., Mohammed A., Sopian K., A Review of Photovoltaic Systems Size Optimization Techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, **22**, 454-465.

Luna-Rubio R., Trejo-Perea M., Vargas-Vazquez D., Rios-Moreno G., Optimal Sizing of Renewable Hybrids Energy Systems: A Review of Methodologies, *Solar Energy*, 2012, **86**(4), 1077-1088.

Ma T., Yang H., Lu L., A Feasibility Study of a Stand-alone Hybrid Solar-Wind-Battery System for a Remote Island, *Applied Energy*, 2014, **121**, 149-158.

Mahmoudi H., Abdul-Wahab S., Goosen M., Sablani S., Perret J., Ouagued A., Spahis N., Weather Data and Analysis of Hybrid Photovoltaic-Wind Power Generation Systems Adapted to a Seawater Greenhouse Desalination Unit Designed for Arid Coastal Countries, *Desalination*, 2008, **222**, 119-127.

Mamur H., Yakar M., Zerafer A., Bir Kamu Binası için Hibirt Enerji Sistemi Fizibilitesi, *International Journal of Technological Sciences*, 2019, **11**(1), 51-58.

Nandi S., Ghosh H., A Wind PV-Battery Hybrid Power System at Situkanda in Bangladesh, *Energy Policy*, **37**(9), 3659-3664.

Nema P., Nema R., Rangnekar S., Minimization of Green House Gases Emission by Using Hybrid Energy System for Telephony Base Station Site Application, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, **14**(6), 1635-1639.

Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı, *Türkiye İstatistik Kurumu*, 1, 2019.

Nurbay N., Çınar, A., Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, Türkiye, 19-21 Mayıs 2005.

Oğuz Y., Karakan A., Uslu B., Afyonkarahisar'da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi, *Tesisat Mühendisliği*, 2015, **149**(Eylül/Ekim), 47-58.

Panayiotou G., Kalogirou S., Tassou S., Design and Simulation of a PV and PV-Wind Standalone Energy System to Power a Household Application, *Renewable Energy*, 2011, **37**(1), 355-363.

Rehman S., Alam M., Meyer J., Al-Hadhrami L., Feasibility Study of a Wind-PV-Diesel Hybrid Power System for a Village, *Renewable Energy*, 2011, **38**, 258-268.

Rezk H., Dousoky G., Technical and Economic Analysis of Different Configurations of Stand-alone Hybrid Renewable Power Systems—A Case Study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, **62**, 941-953.

Saheb-Koussa D., Koussa M., Belhamel M., Haddadi M., Economic and Environmental Analysis for Grid-connected Hybrid Photovoltaic-Wind Power System in the Arid Region, *Energy Procedia*, 2011, **6**, 361-370.

Scarborough P., Appleby P., Mizdrak A., Briggs A., Travis R., Bradbury K., Key T., Dietary Greenhouse Gas Emissions of Meat-eaters, Fish-eaters, Vegetarians and Vegans in the UK, *Climatic Change*, 2014, **125**(2), 179-192.

Sefa İ., Altın N., Güneş Pili ile Beslenen Şebeke Etkileşimli Eviricileri – Genel Bir Bakış, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009, **24**(3), 409-424.

Shezan S., Julai, S., Kibria, M., Ullah, K., Saidur, R., Chong, W., ve Akikur, R., Performance Analysis of an Off-grid Wind-PV (photovoltaic)-Diesel-Battery Hybrid Energy System Feasible for Remote Areas, *Journal of Cleaner Production*, 2016, **125**, 121-132.

Singh G., Baredar, P., Singh, A., ve Kurup, D., Optimal Sizing and Location of PV, Wind and Battery Storage for Electrification to an Island: A Case Study of Kavaratti, Lakshadweep, *Journal of Energy Storage*, 2017, **12**, 78-86.

Sinha S., Chandel S., Review of Recent Trends in Optimization Techniques for Solar Photovoltaic-Wind Based Hybrid Energy Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, **50**, 755-769.

Toprak A., Akkaya R., Düşük Güçlü Bir Rüzgar Enerji Sistemi için İnverter Uygulaması, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, 5-10 Ekim 2011.

Türkeş M., Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler, *İklim Değişikliği ve Çevre*, 2008, **1**, 26-37.

Upadhyay S., Sharma M., A Review on Configurations, Control and Sizing Methodologies of Hybrid Energy Systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, **38**, 47-63.

URL-1: <https://ec.europa.eu> (Ziyaret Tarihi: 3 Aralık 2019).

URL-2: <https://www.bp.com> (Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2019).

URL-3: <https://www.enerjiportali.com> (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2019).

URL-4: <https://www.botas.gov.tr/> (Ziyaret Tarihi: 3 Kasım 2019).

URL-5: <https://www.enerji.gov.tr> (Ziyaret Tarihi: 11 Ekim 2019).

URL-6: <http://www.yegm.gov.tr> (Ziyaret Tarihi: 10 Temmuz 2019).

URL-7: <https://www.teias.gov.tr> (Ziyaret Tarihi: 27 Eylül 2019).

URL-8: <http://www.tcmb.gov.tr> (Ziyaret Tarihi: 1 Aralık 2019).

URL-9: <http://bit.ly/2EqnJnO> (Ziyaret Tarihi: 18 Kasım 2019).

URL-10: <https://solarevi.com> (Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2019).

URL-11: <http://bit.ly/36z0HHk> (Ziyaret Tarihi: 12 Kasım 2019).

URL-12: <https://halbes.com> (Ziyaret Tarihi: 7 Eylül 2019).

URL-13: <https://www.howstuffworks.com/> (Ziyaret Tarihi: 1 Ağustos 2019).

URL-14: <https://www.istabreeze.com.tr/> (Ziyaret Tarihi: 15 Haziran 2019).

URL-15: <https://www.enerjipazar.com> (Ziyaret Tarihi: 3 Haziran 2019).

URL-16: <https://nasa.github.io/data-nasa-gov-frontpage> (Ziyaret Tarihi: 22 Mayıs 2019).

Zhao B., Zhang X., Li P., Wang K., Xue M., Wang C., Optimal Sizing, Operating Strategy and Operational Experience of a Stand-alone Microgrid on Dongfushan Island, *Applied Energy*, 2013, **113**, 1656-1666.

Zhou W., Lou C., Li Z., Lu L., Yang H., Current Status of Research on Optimum Sizing of Stand-alone Hybrid Solar-Wind Power Generation Systems, *Applied Energy*, 2010, **87**(2), 380-389.



## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

**Kayıkçı B.**, Çanka Kılıç F., Aydın İlinde Bir Konut için Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi Fizibilitesi, *Uluslararası Enerji Ekonomi ve Güvenlik Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 8-9-10 Kasım 2019.





## **ÖZGEÇMİŞ**

Bengisu KAYIKCI 1993 yılında doğdu ve ilköğrenimini ve lise öğrenimini İskenderun'da tamamladı. 2011 yılında İstiklal Makzume Anadolu Lisesinden mezun olarak Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim görmeye başladı. 2015 yılında İnşaat Mühendisi olarak üniversiteden mezun oldu. 2016 yılında Serbest İnşaat Mühendisi olarak statik projelendirme ve bina enerji performansı alanlarında çalışmaya başladı. 2017 yılında Enerji Yöneticisi, 2018 yılında Bina Etüt Proje uzmanı unvanlarını ilgili bakanlıkların sınavlarından başarıyla geçerek almaya hak kazandı. 2018 yılının ilk çeyreğinde Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimi sürecinde yenilenebilir enerji sistemlerinin konutlara uygulanması üzerine çalışmalarda bulundu.