



**T.C.
GAZİANTEP İSLAM BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİT ENERJİ
SİSTEM TASARIMI: BALIKESİR ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ayşenur SEKİN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İpek ATİK

GAZİANTEP
2022

T.C.
GAZİANTEP İSLAM BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİT ENERJİ
SİSTEM TASARIMI: BALIKESİR ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Ayşenur SEKİN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İpek ATİK

GAZİANTEP

2022

Bilimsel Etięe Uygunluk Beyanı

BİLİMSEL ETİğE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını taahhüt ve beyan ederim.



ÖZET
RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİT ENERJİ
SİSTEM TASARIMI: BALIKESİR ÖRNEĞİ

Ayşenur SEKİN

Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Ağustos/2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İpek ATİK

Günümüzde teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, sanayileşme ve küreselleşme gibi nedenlerle enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Artan ihtiyacı karşılamak için alternatif kaynak arayışları önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları temiz ve tükenmemesinden dolayı özellikle tercih edilmektedir. Türkiye coğrafi konumu, yer altı zenginlikleri ve enerji kaynakları açısından zengin potansiyele sahip bir ülkedir. Bu sebeple çalışmada güneş ve rüzgâr enerjisinin birlikte kullanıldığı hibrit sistem tasarımı verimlilik analizleri yapılmıştır. Analizler için meteorolojik ve coğrafi konum itibarı ile rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin kurulmasına elverişli olan Balıkesir İli tercih edilmiştir. Analizlerde gerçek verilere yakın değerler gösteren PvSOL programı kullanılmıştır. Hibrit sistemler, kurulu kapasiteleri 7 ile 50 KW arasında değişen 10 farklı durum için tasarlanmıştır. Çalışmalarda şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistem tasarımları ayrı ayrı analiz edilmiştir. Şebekeden bağımsız sistemlerde kurulu güç kaynağına ve üretilen enerjiye bağlı olarak, akümülatör ve şarj kontrolörleri seçilmiştir. Şebekeye bağlı sistemlerde akümülatöre ihtiyaç yoktur. Analizlerde sistem tasarımlarında güneş paneli, rüzgâr türbin, konvertör, regülatör ve akü sistemleri gibi tüm ekipmanların seçimi yapılırken verimlilik değerleri incelenmiştir. Çalışmanın şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız farklı kurulu güç kapasitesine sahip hibrit sistemlerin tasarlanmasında yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Rüzgâr Enerjisi, Güneş Enerjisi, Hibrit Sistem, Balıkesir, Kurulu Güç

ABSTRACT
WIND-SOLAR HYBRID ENERGY
SYSTEM DESIGN: BALIKESİR CASE

Aysenur SEKİN

Gaziantep Islam Science and Technology
University

Institute of Graduate Studies

Electrical Electronics Engineering

M.Sc. Thesis, August, 2022

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ipek ATIK

Nowadays, the need for energy is increasing due to technological developments, population growth, industrialization and globalization. In order to meet the increasing need, the search for alternative sources has gained importance. Renewable energy sources are especially preferred because they are clean and inexhaustible. There are a lot of renewable energy resources in Turkey, making it a country with a lot of potential. For this reason, efficiency analyzes of hybrid system design, in which solar and wind energy are used together, were carried out. Balıkesir Province, which is suitable for the establishment of wind and solar power plants, was preferred for the analyzes due to its meteorological and geographical location. PvSOL program, which shows values close to real data, was used in the analysis. Hybrid systems are designed for 10 different situations with installed capacities ranging from 7 to 50 KW. In the studies, off-grid and grid-connected system designs were analyzed separately. Accumulators and charge controllers have been selected depending on the installed power source and the energy produced in off-grid systems. There is no need for an accumulator in grid-connected systems. In the analysis, efficiency values were examined while selecting all equipment such as solar panels, wind turbines, converters, regulators and battery systems in system designs. The study aims to guide the design of hybrid systems with varying installed power capacities both connected to the grid and independent of it.

Keywords: Renewable energy, wind energy, solar energy, hybrid system, Balıkesir, installed power

TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında birlikte çalıştığım süreçte benim için değerli zamanını ayırırken güler yüzünü ve samimiyetini hiç esirgemeyen, sürekli bana destek olan değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi İpek ATİK'e teşekkürlerimi saygı ve minnet ile sunarım.

Hayatım boyunca hep yanımda olan ve sürekli beni destekleyen anneme, babama, kardeşime ve abime en kalbi şükranlarımı sunarım.

Ayşenur SEKİN
Elektrik-Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	4
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	6
3.1 Türkiye’de Rüzgâr Potansiyeli.....	7
3.2 Türkiye’ de Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	9
4. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİ.....	11
4.1. Güneş – Rüzgâr – Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi.....	11
4.2. Güneş-Rüzgâr-Hidroelektrik Hibrit Enerji Sistemleri	11
4.3. Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi.....	11
4.4. Güneş – Rüzgâr Hibrit Enerji Sistemi.....	12
4.4.1. Güneş- Rüzgâr Hibrit Sistemler Bileşenleri.....	13
4.4.1.1. Güneş Panelleri (PV).....	13
4.4.1.2. Rüzgâr Türbini	13
4.4.1.2.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	14
4.4.1.2.2. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	14
4.4.1.2.3. Rüzgâr Türbin Konfigürasyonları ve Ayrıntılı Yapısı	15
4.4.1.2.4. Rüzgâr Enerjisinin Elektrik Enerjisine Dönüşümü	16
4.4.1.3. Dizel Jeneratör.....	17
4.4.1.4. Bataryalar	17
4.4.1.5. Yükler.....	17
4.4.1.6. Doğrultucular	17

4.4.1.7. Batarya Regülâtörleri	18
4.4.1.8. Şarj Regülâtörleri	18
4.4.1.8.1. Pwm Şarj Regülâtörü	18
4.4.1.9. Eviriciler (Inverter)	18
4.4.1.9.1. Üç Fazlı Kare Dalga İnverterler	19
4.4.1.10. Aküler.....	19
4.4.1.10.1. Tüplü Sabit Tesis (OPzS) Akü.....	20
4.4.1.10.2 Jel Akü.....	20
4.4.1.10. 3 Kuru Akü.....	20
4.5. Şebeke Bağlantılı Sistem.....	20
4.6. Şebekeden Bağımsız Sistemler (Off-Grid)	21
5. MATERYAL VE METOD	22
5.1. Proje Alanı.....	22
5.2. Rüzgâr Hızı Verileri	22
5.3. Rüzgâr Paneli	23
5.4. Güneş Enerji Verileri	23
5.5. Güneş Paneli.....	25
5.6. Panel Sehpaı.....	26
5.7. Evirici	27
5.8. Akü.....	27
5.9. Rüzgâr Türbinlerinde Matematiksel Hesaplamalar.....	27
5.9.1.Rüzgâr Gücüne Etki Eden Parametreler.....	28
5.9.1.1. Yatay Eksenli Türbin İçin Rotor Süpürme Alanı;.....	28
5.9.1.2. Sıcaklığın Hava Yoğunluğuna Etkisi	28
5.9.1.3. Rüzgâr Türbini Yer Seçimi	28
5.10. Güneş Enerjisi Hesapları.....	29
6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	31
6. 1. Bölgenin Rüzgâr Potansiyeline İlişkin Bulgular	31
6.2. Güneş Enerji Sistemine İlişkin Bulgular	34
6.3. Şebekeden Bağımsız Hibrit Sistem Senaryolarına İlişkin Değerlendirmeler (Off-Grid)	34

7. MALİYET HESAPLAMA	47
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKÇA	54
EK 1. EPDK tarafından onaylanan ve 1 Nisan 2022 Tarihinden itibaren uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler.	58
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



SİMGELER VE KISALTMALAR

A : Rotor kanatlarının süpürdüğü alan (m^2)

MW: Megawatt

KWh/ m^2 : Toplam Işınım Değeri

W/ m^2 : Güneş Işınımı

W: Watt

D: Rotor Çapı

m/sn : İlk Hareket Hızı

M_A : Gazın Moleküler Ağırlığı

W_p : Modül Verimliliği

V_{oc} : Açık Devre Gerilimi

I_{sc} : Kısa Devre Akımı

I_{mp} : Maksimum Güç Akımı

SI: Kinetik Enerji

T: Mutlak Sıcaklık

P: Mutlak Basın

R: İdeal Gaz Sabiti

E_g : Güneş enerji üretimi (kWh)

E_r : Rüzgâr enerji üretimi (kWh)

I^*o :Güneş sabiti (W/m^2)

m : Cismin kütlesi (kg)

P_r : Rüzgâr gücü (W)

P_T : Türbin gücü (W)

R : Havanın özgül sabiti (287,16 J/kgK)

R : Oran faktörü

t : Güneş zamanı (saniye)

V_r : Rüzgâr hızı (m/s)

i_η :İnvertör verimi (%)

r_η : Regülatör verimi (%)

β : Eğik düzlemin yatay ile yaptığı açı (o)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil.1.1. Dünya’da elektrik enerji talebi 2021.....	2
Şekil 1.2. Türkiye için yılları arası kurulu güç değişimi.....	2
Şekil 3.1. Türkiye 100 metrede yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı	8
Şekil 3.2. Türkiye Rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç 2004-2020.....	8
Şekil 3.3. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası.....	9
Şekil 3.4. Türkiye güneş enerjisi kurulu güç 2014-2020	9
Şekil 4.1. Güneş-hidrojen hibrit enerji sistemi	12
Şekil 4.2. Güneş-rüzgâr hibrit güç sistemi blok diyagramı.....	12
Şekil 4.3. Güneş paneli örneği	13
Şekil 4.4. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri	14
Şekil 4.5. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	15
Şekil 4.6. Rüzgâr yönleri	15
Şekil 4.7. Rüzgâr Türbinin Yapısı	16
Şekil 4.8. Rüzgâr Enerji Dönüşümü blok diyagramı	16
Şekil 4.9. Evirici	18
Şekil 4.10. Üç fazlı kare dalga inverter.....	19
Şekil 4.11. Fotovoltaik Sistemdeki Enerjiyi Depo Eden Aküler	19
Şekil 5.1. Balıkesir Güneşlenme Süreleri	24
Şekil 5.2. Güneş Paneli	25
Şekil 5.3. Panel Sehpaası	26
Şekil 5.4. Güneş geliş ışınları	29
Şekil 6.1. Whisper 500 Rüzgâr Türbin Eğrisi	31
Şekil 6.2. BERGEY XL -1 Rüzgâr Türbin Eğrisi.....	32
Şekil 6.3. Iskra At5-1 Rüzgâr Türbin Eğrisi	32
Şekil 6.4. Endurance G 3120 Rüzgâr Türbin Eğrisi.....	33
Şekil 6.5. Proven WT Rüzgâr Türbin Eğrisi	33
Şekil 6.6. Balıkesir İli aylık güneş ışıınım değerleri	34

Şekil 6.7. Senaryo 1 Şeması.....	35
Şekil 6.8. Senaryo 2 Şeması.....	36
Şekil 6.9. Senaryo_3 sistem şeması	37
Şekil 6.10. Senaryo_4 Şeması.....	38
Şekil 6.11. Senaryo_5 Şeması.....	39
Şekil 6.12. Senaryo_6 Şeması.....	40
Şekil 6.13. Senaryo_7 Şeması.....	42
Şekil 6.14. Senaryo_8 Şeması.....	43
Şekil 6.15. Senaryo_9 Şeması.....	44
Şekil 6.16. Senaryo 10 Şeması.....	45

TABLÖLAR DİZİNİ

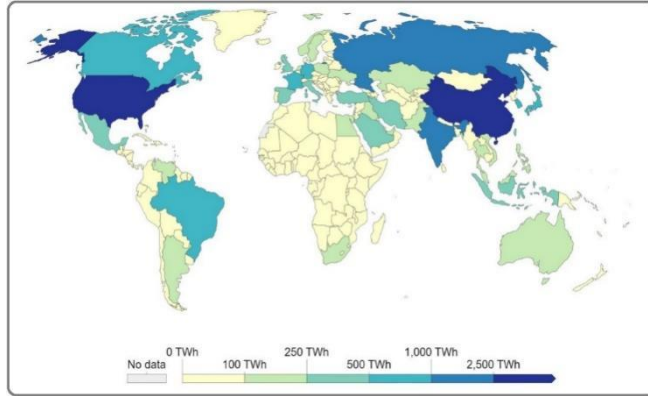
Tablo 3.1. Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyeli	7
Tablo 5.2. Rüzgâr Türbin Özellikleri.....	23
Tablo 6.1. Senaryo 1 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	35
Tablo 6.2. Senaryo_2 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	36
Tablo 6.3. Senaryo_3 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	37
Tablo 6.4. Senaryo_4 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	38
Tablo 6.5. Senaryo_5 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	39
Tablo 6.6. Senaryo_6 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	41
Tablo 6.7. Senaryo_7 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	42
Tablo 6.8. Senaryo_8 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	43
Tablo 6.9. Senaryo_9 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	44
Tablo 6.10. Senaryo 10 Aylık Hibrit Enerji Üretimi	45
Tablo 7.1. Senaryolara göre rüzgâr türbin modelleri ve maliyetleri	47
Tablo 7.2. Senaryolara göre güneş panel modeli ve maliyetleri	48
Tablo 7.3. Senaryolara göre şarj regülatör modeli ve maliyetleri.....	48
Tablo 7.4. Senaryolara göre akümülatör modelleri ve maliyetleri.....	49
Tablo 7.5. Senaryolara göre invertör modelleri ve maliyetleri	49
Tablo 7.6. Senaryolara göre hibrit sistem elemanlarının birim fiyatları	50
Tablo 7.7. Her bir hibrit enerji senaryosunun toplam maliyeti	50
Tablo 7.8 Hibrit enerji senaryolarına ait birim enerji fiyatları.....	51
Tablo 7.9 Hibrit enerji senaryolarına ait aylık ve yıllık amortisman tutarları.....	51

1. GİRİŞ

Dünyadaki nüfusun artışı, teknolojik gelişmeler, sanayileşme gibi faktörlerin etkisiyle enerji gereksinimi günden güne artış göstermektedir. Enerji önemli bir kaynak olmasının yanı sıra yaşam kalitesinin artması için de önemlidir (Engin, 2002). Ayrıca ülke ekonomileri için de önemli bir unsurdur. Bu yüzden dolayı eğer enerji verimli kullanılmaz ise hem kaynaklar zaman içinde tükenecek hem de çevreye çok ciddi zararları olacaktır. Sürekli olarak tek bir enerji kaynağına bağımlı olmak birçok sıkıntı ve riski de beraberinde getirmektedir (Demirtaş, 2008).

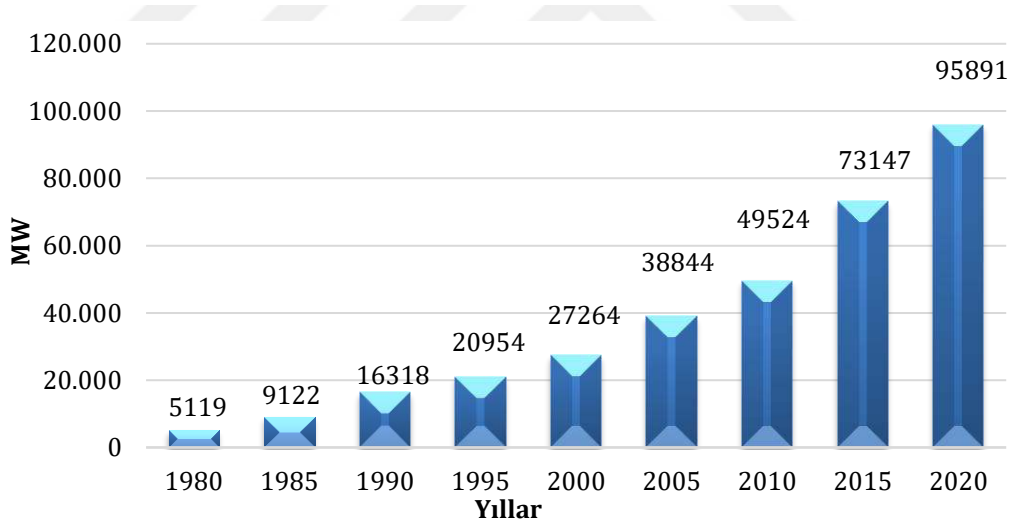
Küresel enerji tüketiminin, 1998 yılındaki enerji tüketimine kıyasla 2035 yılında iki katı, 2055 yılında ise 1998 yılındaki tüketimin üç katı olacağı tahmin edilmektedir. Dünya genelinde 2022 yılı enerji talebi verileri incelendiğinde yaşanan covid-19 salgının etkisiyle küresel enerji talebi düşüş göstermiştir. Bu düşüş son elli yıl içerisindeki en büyük düşüş olmuştur. 2021-2022 yılında ise covid-19'un etkilerinin azalmasıyla getirilen kısıtlamalar kaldırılırken ve ekonomi düzelirken, enerji talebi tekrar artışa geçmiştir ("Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Küresel Enerji Raporu," 2022).

Enerji kaynakları içinde en çok ihtiyaç duyulan enerjilerden biri elektrik enerjisidir. Şekil 1.1'de Dünya'da elektrik enerji talebi 2021 verileri gösterilmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde fosil kaynakların yanında yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılmaktadır. Fosil kaynaklar olan kömür, petrol ve doğalgaz gibi kaynakları kullanmadan enerji üretimi daha önemli hale gelmiştir. 2015 yılında tüm yenilenebilir ve nükleer enerjinin dünya toplam elektrik üretimindeki payı %3 iken bu oran 2020 yılında %39'a yükselmiştir ("Enerji Sektör Görünümü (TSKB)"). Türkiye'de tüm yenilenebilir enerjilerin toplam elektrik üretimindeki payı 2015 yılında %33 iken, 2020'de bu oran %43'e yükselmiştir. Dünya Elektrik Raporu 2021 verilerine göre, kömürle çalışan elektrik üretimi son iki yılda düşüş göstermektedir. 2020 yılından günümüze kadar güneş, rüzgâr ve doğalgaz ile elektrik üretiminde artış olmaktadır ("EPDK, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu," 2021). Küresel Elektrik Görünümü raporu verilerine göre Türkiye'de yenilenebilir enerji, 2015 yılında elektrik üretiminin yaklaşık üçte birini karşılarken, 2020'de %43'ünü karşılamaktadır. Dünyada rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin payı son 5 yılda iki katına çıkarken, Türkiye'de % 4 'ten %12'ye üç katına çıkmıştır. Dünya genelinde önümüzdeki 20 ila 25 yıl için 68,2 trilyon dolarlık bir enerji yatırımı planlanmaktadır ("Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Küresel Enerji Raporu," 2022).



Şekil.1.1. Dünya’da elektrik enerji talebi 2021 (TWh) (Worlddata, Energy consumption)

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi Dünyada enerji talebi en yüksek ülkeler Çin ve ABD gibi ileri teknolojiye sahip ülkeler iken, enerji talebi en düşük ülkeler ise Afrika gibi gelişmişlik düzeyi düşük olan ülkelerdir. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de kurulu güç kapasitesi yıllar içinde artış göstermiştir (“Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Küresel Enerji Raporu,” 2022).



Şekil 1.2. Türkiye için yılları arası kurulu güç değişimi (1980-2020) (“Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Küresel Enerji Raporu,” 2022)

Şekil 1.2’den görüldüğü gibi Türkiye’de kurulu güç değişimi 1980-2020 yılları için incelendiğinde 1980 yılında kurulu güç değeri 5119 MW iken, 2000 yılında 27264 MW’a, 2020 yılında ise 95891 MW değerine yükselmiştir (“Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Küresel Enerji Raporu,” 2022). Bu çalışmada, rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin birlikte kullanılacağı hibrit sistem tasarımı yapılmıştır. Birkaç enerji kaynağının bir arada kullanıldığı enerji sistemine hibrit enerji sistemi denir. Bir hibrit enerji sisteminin verimliliği çevresel faktörlere, maliyet analizine ve bileşen boyutuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Mevcut fosil yakıt veya yenilenebilir enerji

kaynaklarının eklenmesiyle hibrit enerji sistemleri birlikte kullanılabilir (Köse, 2010; Zhang, Maleki, Rosen, & Liu, 2018).

Hibrit Enerji Sisteminin Avantajları:

- *Sera gazı salınımında azalma olmaktadır.
- *Üretilen fazla elektrik dışarıya satılabilmektedir.
- *Enerji üretmek için harcanacak olan fosil yakıtta azalma olmaktadır.
- *Daha verimli ve sürekli enerji üretiminden dolayı tercih edilmektedir.

Analizler Türkiye Balıkesir İli'nin meteorolojik verilerine göre yapılmıştır. Analizlerde dünya genelinde yaygın olarak kullanılan ve gerçeğe yakın değerler elde eden analiz programı PvSOL kullanılmıştır ("PVSOL, The design and simulation software for photovoltaic systems"). Bu sonuçlara ek olarak, kurulum planları, tasarruflar, risk analizleri ve rüzgâr enerjisi için enerji tasarrufunu etkileyen faktörleri içeren veriler tablo ve grafiklerde sunulmuştur. Çalışmada sistem verimliliğini etkileyen parametreler olan panel boyutu, şekli vb. gibi etkenlerde incelenmiştir. Özellikle hibrit elektrik enerji sisteminin tercih edilmesindeki amaç aynı anda iki sistem birlikte kullanılabildiği için hem verimlilik açısından hem de maliyet açısından çok iyi sonuç alınmasıdır. Balıkesir İli hem güneş hem rüzgâr potansiyeli bakımından güneş-rüzgâr hibrit sistem kurulmasına uygun olduğundan tercih edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Ülkemizde ve dünyada hibrit enerji sistemlerine olan talep her geçen gün artmaktadır. Hibrit enerji sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalara ekonomik, güvenilirlik ve verimlilik analizleri örnek verilebilir. Hibrit enerji sistemleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Nelson ve Pasifik Kuzeybatı bölgesindeki meslektaşları, en düşük maliyetle tasarruf sağlayacak şekilde şebekeden bağımsız güç gereksinimleri için hücre-güneş/yakıt pili veya rüzgâr-güneş/pil dizisi sistemlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında rüzgâr güneş pili sistemlerinin, rüzgâr güneş yakıt hücresi ve elektroliz sistemlerine göre daha ekonomik olduğunu bulmuşlardır (Nelson, Nehrir, & Wang, 2006).

Türkay ve arkadaşları yaptığı çalışmada hidrojen enerjisi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının bir araya gelmesiyle oluşan sistemler için ekonomik analizler yapmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını aşırı boyutlandırmanın güvenilirliği arttırdığı gözlemlenmiştir (Türkay & Telli, 2011).

Lujano M. ve ark. hibrit enerji sistemlerinde çeşitli araştırmalar yapmıştır. Hibrit sistemler için karbondioksit emisyonları, yetersiz yükler ve enerji değerleri gibi kriterleri tanımlamıştır (Lujano-Rojas, Monteiro, Dufo-López, & Bernal-Agustín, 2012).

Marano ve arkadaşlarının çalışmasında, bir fotovoltaiik enerji santrali ve bir rüzgâr santrali içeren enerji sisteminin maliyet analizi, sıkıştırılmış havanın bir alan deposu enerjisi ile birleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. İtalya'daki Salerno Üniversitesi kampüsündeki elektrik yükü ve çevredeki yenilenebilir enerji dikkate alınmıştır (Marano, Rizzo, & Tiano, 2012).

İsmail ve arkadaşları, hibrit sistemlerin analizi için Matlab tabanlı yazılım geliştirilmiştir. Fotovoltaiik panel, mikro türbin ve pil çeşitleri ile panellerin eğim açısını dikkate alarak maliyet analizini minimize etmeyi amaçlamıştır. Bu çalışma için ek güç kaynağı olarak dizel jeneratör yerine mikro türbin kullanılmasının daha iyi olacağı tespit etmiştir (İsmail, Moghavvemi, & Mahlia, 2014).

Sasidhar ve Jagadish Kumar çalışmasında sezgisel boyut tekniğini ve hibrit güç sistemi boyutunu kullanılarak sistem maliyeti minimize edilmiştir. Toplam sistem maliyeti hesaplanırken işletme, bakım ve ilk yatırım maliyetleri dikkate alınmıştır. Tasarladıkları hibrit sistem, rüzgâr türbinleri, güneş panelleri ve pilleri içerir. Matlab yazılımı kullanılarak geliştirilen algoritmanın verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu teknik ile maliyetler düşürülmüştür (Sasidhar & Kumar, 2015).

Dong ve arkadaşları, Çin'in Zhejang kentindeki Zhoushan yarımadasında topladıkları verilerle hibrit güç sistemlerinin faydalarını açıklamak için bir deney yapmıştır. Çalışmada hibrit rüzgâr, fotovoltaiik, hidrojen, pil sisteminin ekonomisini ve güvenilirliği kontrol edilmiştir. Sistemin hidrojen ve bataryayı diğer sistemlere göre daha verimli kullandığı gözlemlenmiştir (Dong, Li, & Xiang, 2016).

Sangeetha ve Suja yaptıkları çalışmada, rüzgâr türbini, güneş panelleri ve bataryalardan oluşan hibrit enerji sistemi Simulink programıyla, program sonucunda elde ettikleri veriler ile Matlab programı kullanılarak modellenmiştir. Hibrit güç sisteminin boyutsal analizi sırasında, üretim maliyetinin ve güç kaynağının

güvenilirliğinin yüksek olmasını sağlamak amaçlanmıştır (Sangeetha & Suja, 2017a). Sanajaoba Singh ve Fernandez, Hindistan Almora bölgesinden elde ettikleri verilerle yaptıkları çalışmada fotovoltaik paneller kullanarak hibrit güç sistemi tasarlamıştır. Çalışmalarında rüzgâr gücü kayıp oranlarını dikkate almıştır. Ayrıca rüzgâr kaynakları, güneş radyasyonu ve sermaye maliyetleri araştırılmıştır (Singh & Fernandez, 2018).

Literatür taraması sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıtları birleştiren hibrit güç üretim sistemlerinin farklı yöntemlerle birleştirildiği gözlemlenmiştir. Yardımcı simülasyon programlar aracılığıyla gerçeğe yakın değerler veren analizlerin yapıldığı, testlerinin daha kolay olduğu ve daha yüksek verim elde edildiği görülmektedir. Ayrıca son dönemlerde yapılan çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynaklarından kesintisiz hibrit enerji sistemlerine önem verildiği anlaşılmaktadır.



3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji sürekli kendini yenileyen ve doğal olarak elde edilen kaynaklar olarak tanımlanır. Bu kaynakların özellikle Ar-Ge maliyetleri ve yatırım maliyetleri diğer kaynaklara göre daha yüksektir. Günümüzde alternatif enerji kaynaklarına olan ihtiyaç, bu kaynakların tükenmemesi ve doğaya zarar vermemesi gibi nedenlerle tercih edilmektedir(Kusakana, Vermaak, & Yuma, 2013). Güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidrolik gibi enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek verilebilir. (“Elektrik Piyasası Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM),” 2021).

Yaşamın temeli olan güneş çok iyi bir enerji kaynağıdır. Dünyamızdan 1,3 milyon kat daha büyük olan güneş, nükleer enerji dışındaki tüm enerji türlerinin temelidir. Güneş enerjisi eski çağlardan beri kullanılan kaynaklardan biri olmuştur. Eski Yunanlılar, topraktan elde edilen ürünleri ve giyecekleri kullanmanın yanı sıra, evleri herhangi bir ekipman olmadan soğutmak ve ısıtmak için pasif güneş ışınlarını kullanmışlardır. Eski zamanlardan beri çölde yaşayan insanlar, evler inşa etmek için yanmamış tuğlalar kullanmış ve onları güneşin yardımıyla yakmışlardır (Köse, 2010).

Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisinin başka bir şeklidir. Güneş enerjisinin atmosferde meydana getirdiği termal değişimler nedeniyle dünyanın coğrafi şekilleri ve dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu atmosfer oluşmaktadır. Yani güneşin ısıttığı havanın yoğunluğu azaltılarak geride kalan boşluk soğuk hava ile dolmaktadır ve buna da rüzgâr adı verilmektedir. (Köse, 2010).

Jeotermal enerjiye dünyanın ısısı denir. Jeotermal kaynaklar, yerkabuğunun farklı yerlerinde yüzeye sızma sonucu su birikmesi ile dünyanın yoğun bölgelerinde magmadan çıkan ısı veya su buharıdır. Bu kaynaklar yapılarında normalde bulunan suya ek olarak çeşitli tuzlar, gazlar ve mineraller içermektedir, ancak genellikle 20°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bulunur (“Elektrik Piyasası Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM),” 2021).

Biyokütle, bitkisel- hayvansal ürünler, evsel ve endüstriyel atıklardan oluşan bir enerji kaynağıdır. Organik organizmalar ana kaynaktır. Atık hayvan ve bitki ürünlerinin fosil yakıtlarda olduğu gibi belirli yöntemlerle ayrıştırılarak enerjiye dönüştürülmesidir. Bu fosil kaynaklarının en önemli farkı, uzun yıllar boyunca basınç ve sıcaklıkla kendiliğinden parçalanmalarıdır. Biyokütle enerjisi, gerekli kısıtlamalara ve bilimsel yöntemlere uyulmadığı takdirde kötü sonuçlar vermektedir (“Elektrik Piyasası Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM),” 2021).

Hidrojen, içinde yaşadığımız dünyanın temelini oluşturmaktadır. Fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanılarak, en basit şekilde oksijenle reaksiyonu sonucunda su oluşur ve açığa enerji çıkmaktadır. Bu enerjiyi verimli, uygun ölçüde, etkin bir şekilde kullanmak oldukça kolaydır. Hidrojen sudan alındığı ve enerji üretimi sırasında tekrar suya dönüştürülebildiği için devamlılık sağlamaktadır (Engin, 2002).

Hidrolik gücün kaynağı sudur. Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye çevrilmesiyle elde edilir. Suyun, sürekli hareket etmesi ile kendini yenileyen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Tarih boyunca, kullanım kolaylığı ve etkinliği vb. nedenler ile yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Demirtaş, 2008).

3.1 Türkiye’de Rüzgâr Potansiyeli

T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı’nın yaptığı araştırmalara göre yükseklik olarak 50 metre yüksekte, rüzgâr hızı olarak 7,5 m/s hıza sahip bölgelerde 5 MW kurulu gücünde rüzgâr enerji santrali kurulabilir olarak belirlenmiştir. Bu tanımlamaya dayanarak Türkiye Rüzgâr Potansiyel Enerji Atlası (REPA) oluşturulmuştur. Türkiye yüz ölçümünün %1,30’u istenilen rüzgâr santrali kurma koşulunu sağlamaktadır. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli verileri Tablo 3.1’de özetlenmiştir (“Enerji Sektör Görünümü (TSKB)”)

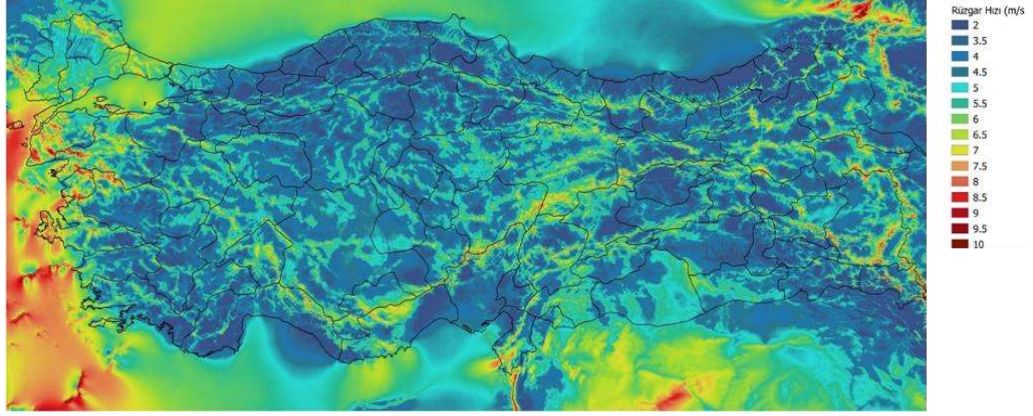
Tablo 3.1. Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyeli (Malkoç)

Rüzgâr sınıfı	50 M’de Rüzgâr Gücü (W/m ²)	50 M’de Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Rüzgârlı Arazi Yüzdesi (%)	Toplam Kurulu Güç Potansiyeli (Mw)
4	400-500	7-7,5	5.851,87	0,79	29.259,36
5	500-600	7,5-8	2.598,86	0,35	12.994,32
6	600-700	8-8,5	1.079,98	0,15	5.399,92
7	>800	>9	39,17	0,01	195,84
TOPLAM KAPASİTE				47.849,44	

Türkiye REPA haritası hazırlanırken orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak, 200 m x 200 m çözünürlüğünde olacak şekilde rüzgâr haritaları oluşturulabilir. Oluşturulan farklı rüzgâr haritaları aşağıda belirtildiği şekilde hazırlanmaktadır.

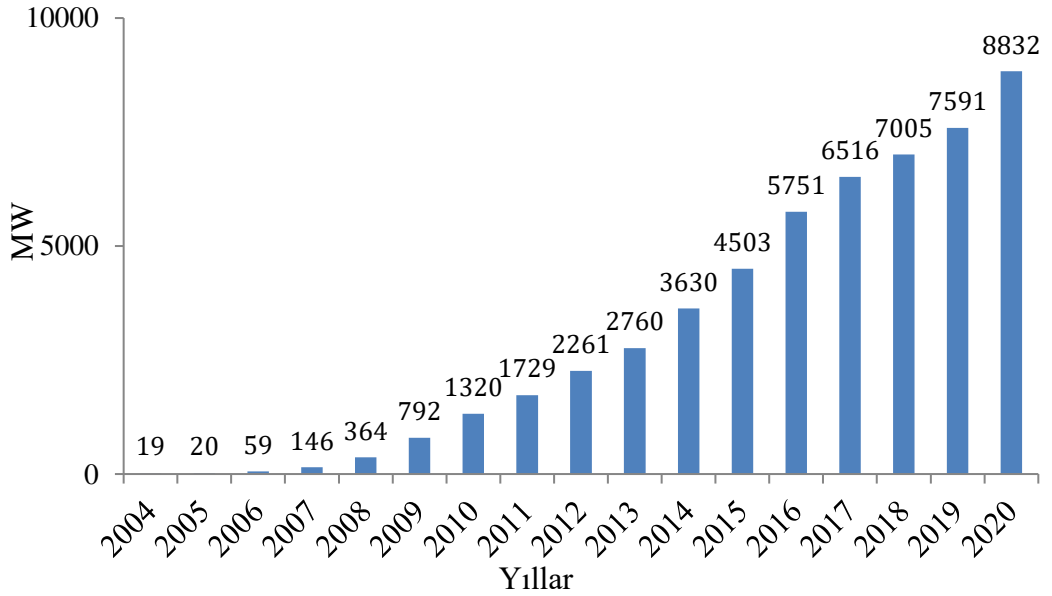
- 30, 50, 70 ve 100 m yükseklikte yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük ortalama rüzgar hızları;
- 50 m ve 100 m yükseklikte yıllık, mevsimlik ve aylık rüzgar enerjisi güç yoğunluğu;
- 50 m yükseklikteki rüzgâr sınıfları yıllık bazda,
- 2 ve 50 m yüksekliklerdeki sıcaklık verileri aylık bazda,
- Deniz seviyesinde ve 50 m yüksekliklerdeki basınç değerleri aylık.

Örneğin Türkiye için 100 metrede yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımına ait harita Şekil 3.1’de verilmiştir (Malkoç).



Şekil 3.1. Türkiye rüzgar hızı ortalaması dağılımı yıllık olarak 100 metre yükseklikte (Malkoç)

Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi yıllara göre sürekli artış göstermektedir. Bunda gelişen teknolojinin ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımındaki artışın etkisi önemlidir. Türkiye için rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç Şekil 3.2’de verilmiştir.

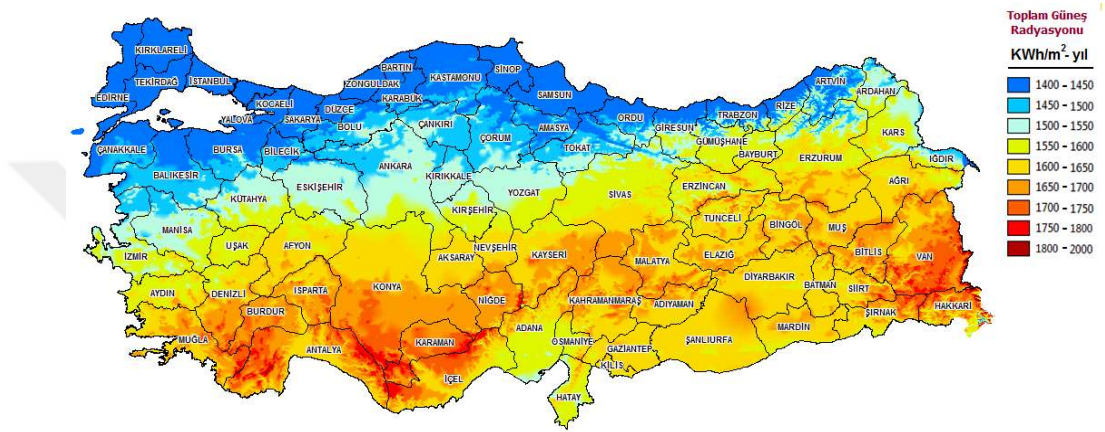


Şekil 3.2. Türkiye Rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç 2004-2020 (“TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi)”))

2004 yılında rüzgâr enerjisine dayalı kurulu güç 19 MW iken, 2007 yılında 146 MW, 2011 yılında 1729 MW, 2015 yılında 4503 MW, 2017 yılında 6516 MW ve 2020 yılı sonunda 8832 MW’a ulaşmıştır. 2020 verilerine göre toplam elektrik üretiminde rüzgâr enerjisinin payı %8,9’dur.

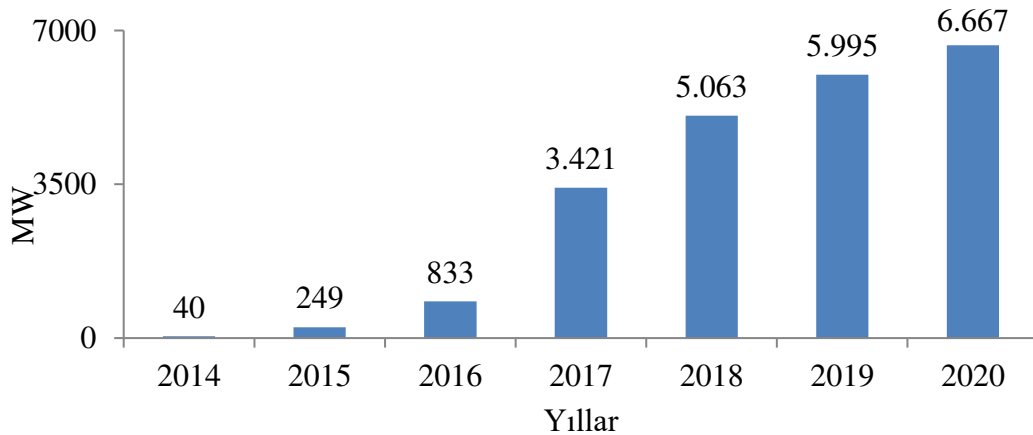
3.2 Türkiye’ de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş enerji şiddeti dünya atmosferinin dışında yaklaşık 1370 W/m^2 değerindedir. Atmosferin etkisi ile yeryüzüne ulaşan değer $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasındadır. Türkiye coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisi için güçlü bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin yıllık ortalama toplam güneşlenme saati $2741,07 \text{ saat/yıl}$ ve ortalama günlük toplam güneşlenme saati $7.50 \text{ saat/gün'dür}$. Ortalama yıllık toplam radyan yoğunluğu $1527,46 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ve ortalama günlük toplam radyan yoğunluğu $4,18 \text{ kWh/m}^2\text{-gün'dür}$. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası (GEPA) Şekil 3.3’de verilmiştir (“EİEİ (Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü), Güneş Enerji Potansiyel Atlası,” 2021).



Şekil 3.3. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası (“EİEİ (Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü), Güneş Enerji Potansiyel Atlası,” 2021)

Aralık 2020 sonu itibariyle Türkiye güneş enerjisi kurulu gücü 6.667 MW , toplam elektrik üretimindeki payı $\%3,6$ 'dır. Kurulu gücün yıllar içindeki artışı Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Türkiye güneş enerjisi kurulu güç 2014-2020 (“TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi)”).

Şekilden görüldüğü üzere 2014-2020 yılları arasında güneş enerjisi kurulu güç miktarı sürekli artış göstermiştir. 2014 yılında kurulu güç 40 MW iken 2016 yılında 833 MW, 2020 yılında ise 6667 MW değerine ulaşmıştır.



4. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİ

İki veya daha fazla enerji kaynağı kullanılarak enerji üretilen sistemlere hibrit enerji sistemleri denir. Güneş – rüzgâr – hidrojen, güneş-rüzgâr-hidroelektrik, güneş-hidrojen ve güneş-rüzgâr enerji sistemleri hibrit sistemlere örnek verilebilir. Hibrit sistemler uygun şekilde tasarlandığında yılın 12 ayı kesintisiz elektrik üretimi sağlanabilir. Örneğin güneş-rüzgâr hibrit enerji sistemlerinde güneş ışınlarının çok parlak ve kuvvetli olduğu yaz aylarında rüzgâr hızları düşük iken, güneş enerjisinin az olduğu yaz aylarında rüzgâr hızları yüksektir (Demirtaş, 2008).

Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinin entegre olarak kurulduğu sistemlerde diğer sistemler gibi yıldan yıla ve günden güne değişiklik göstermektedir. Başka bir ifadeyle rüzgâr enerjisinin yeterli enerji üretmediği zamanlarda güneş enerjisinden faydalanılabilir. Böylece bu sistemlerde enerji üretim devamlılık sağlanmış olur. Hibrit enerji sistemi rüzgâr yada güneş enerjisinin çalışma sistemi ile aynı çalışmaktadır. Yalnızca sisteme ek yapılmalıdır. Tasarımı yapılan sistemler kurulum yeri ve amaca göre şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız olarak yapılabilir. (Ashok, 2007; Dong et al., 2016; Singh & Fernandez, 2018).

4.1. Güneş – Rüzgâr – Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi

Bu sistem elektroliz için gerekli olan fotovoltaiik ve rüzgâr türbinlerinden oluşmaktadır. Elektrik üretilebilir seviyeye ulaştığında, rüzgâr ve güneş varlığında hidrojen üretilir ve depolanır. Yeterli rüzgâr veya güneş olmadığında, yakıt hücresinde üretilen hidrojen tüketilerek elektrik üretilir. Böylelikle güneş-rüzgâr-hidrojen enerjisinden faydalanarak sürekliliği olan temiz bir enerji üretim sistemi kurulur (Dong et al. 2016).

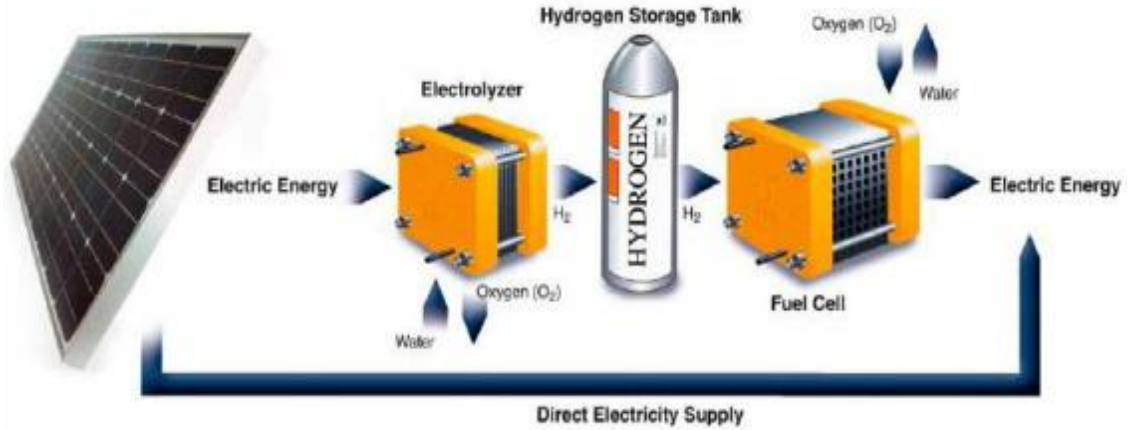
4.2. Güneş-Rüzgâr-Hidroelektrik Hibrit Enerji Sistemleri

Jeneratörler ve rüzgâr tarafından üretilen enerji, daha sonra aküyü şarj etmek için doğru akıma dönüştürülmektedir. Kontrolör ise pili ani güç kaybından veya aşırı şarjdan korur. Sistem kayıplarını azaltmak için genellikle daha yüksek voltajlar kullanılabilir, ancak dönüştürücüler genellikle sahada kullanılan elektrik sistemine bağlı olarak düşük voltajlı DC'yi 110V veya 230V AC'ye dönüştürmek için tasarlanmıştır. (M. A. Elhadidy, 2002).

4.3. Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Sistemi

Güneş- Hidrojen enerji sistemi, doğrudan veya dolaylı olarak düşük değerli elektrik üretiminde kullanılır ve bu elektrik ile çeşitli kaynaklardan elde edilen hidrojen başta olmak üzere sanayiye, ulaşımda kullanılan su, konut vb. elektrik üretimi gibi fosil yakıtların kullanıldığı tüm uygulamalarda kullanılmaktadır (Köse, 2010).

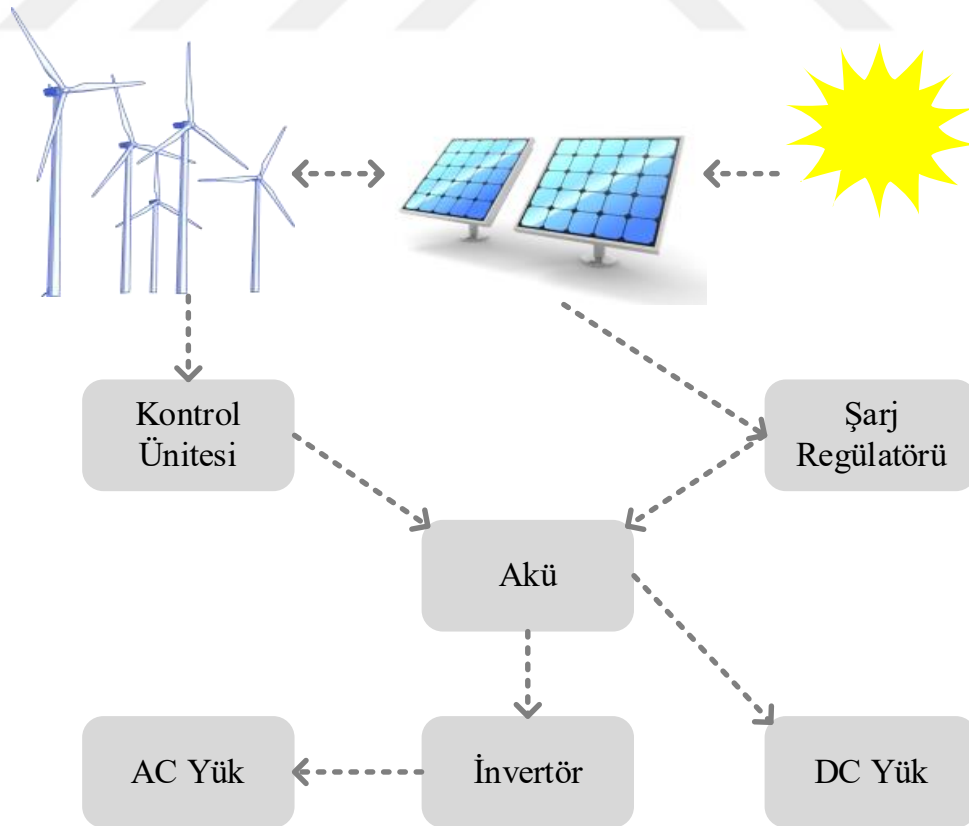
Güneş enerjisi çevreye faydalı olmakla birlikte, aralıklı olarak da elde edilebilir. Ortalama olarak, güneş enerjisi günün yaklaşık üçte birinde üretilebilir. Güneş ışığının yoğunluğu akşam ve sabah erken saatlerde az iken, öğleden sonra çok yüksektir. Güneş enerjisi, ışık yoğunluğunun yüksek olduğu zamanlarda depolanmalı, daha sonra hazır olduğunda kullanılmalıdır. Şekil 4.1'de Güneş-hidrojen hibrit enerji sistemi gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Güneş-hidrojen hibrit enerji sistemi (“Güneş-hidrojen hibrit sistem”)

4.4. Güneş – Rüzgâr Hibrit Enerji Sistemi

Güneş-rüzgâr hibrit sistemlerde güneş panelleri ve rüzgâr türbini talep edilen gücü karşılamak için birlikte çalışırlar. Şebeke bağlantılı sistemlerde üretilen enerji direkt şebekeye aktarılırken, şebekeden bağımsız sistemlerde bataryada depo edilir. Üretilen enerji talepten az olduğu zamanlarda, bataryada depolanan enerji kullanılır. Şekil 4.2’de güneş-rüzgâr enerji üretim hibrit sistem blok diyagramı verilmiştir (Demirtaş, 2008; M. Elhadidy & Shaahid, 1999; Sasidhar & Kumar, 2015).



Şekil 4.2. Güneş-rüzgâr hibrit güç sistemi blok diyagramı (Köse, 2010)

4.4.1. Güneş- Rüzgâr Hibrit Sistemler Bileşenleri

Hibrit sistemlerde güneş panelleri, rüzgâr türbinleri, akü, batarya, invertör, doğrultucu gibi temel bileşenler bulunmaktadır. Hibrit sistem verimliliği bu bileşenlerin doğru seçimine bağlıdır. Hibrit sistemler tüm bileşenlerin özelliklerine göre tasarım yapılmalıdır. Güneş-rüzgâr hibrit sistem temel bileşenlerine ait detaylı bilgi bu bölümde verilmiştir.

4.4.1.1. Güneş Panelleri (PV)

Güneş panelleri, seri bağlanmış birçok fotovoltaiik hücreden oluşur. Plakaların kapasitesi test ortamında elde edilen güce göre belirlenir. Test çalışmalarına göre panelin en yüksek verimi elde ettiği değerler 25 santigrat derece sıcaklık, 1 m/s rüzgar hızı ve 1000 W/m² güneş ışıdır. Güneş panelleri benzersiz bir akım-voltaj ilişkisine sahiptir. Üreticiler bu üç değişkenden rüzgâr ve radyasyonu sabit tutar ve sıcaklıkla nasıl değıştiklerini gösterir. Kontrol panelinden maksimum güç elde etmek için çalışma noktası doğru seçilmelidir. Çünkü gün içindeki radyasyondaki değışiklikler veya yükteki olası değışiklikler nedeniyle çalışma noktası farklılık göstermektedir. (Sangeetha & Suja, 2017b; “Solar Led, Poli Kristal Paneller,” 2021, “TeknoRay solar, Güneş paneli”)

PV paneller aküye doğrudan bağlı değildir, çünkü akünün uzun ömürlü olması için şarj kontrolörü kullanılması gerekir. Bu, özellikle aşırı yüklenmelerden ve deşarjlardan korumak için bir regülatör ile yapılmaktadır. Şekil 4.3’de örnek bir güneş panelinin görseli verilmiştir.



Şekil 4.3. Güneş paneli örneği (“TeknoRay solar, Güneş paneli”)

4.4.1.2. Rüzgâr Türbini

Rüzgâr türbinleri, hareket halindeki havanın kinetik enerjisini elektriğe çevirir. Fotovoltaiik panellerle karşılaştırıldığında daha fazla bakım gerektirirler. Üretilen gücü artırmak için farklı boyutlarda birkaç rüzgâr türbini paralel olarak bağlanır. Enerji

üretimi rüzgar hızına bağlı olarak değişiklik gösterir. Rüzgârın hızı sürekli değiştikçe üretilen enerji de değişecektir.

Rüzgâr türbinin kurulduğu konum rüzgar hızını etkilediği için önemlidir. Rüzgâr türbinin üretim kapasitesi rüzgâr hızına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bir pil veya başka bir güç kaynağı ile kullanıldığında enerji sürekliliği sağlanabilir. Özellikle PV sistemleri ile birleştirildiğinde mevsimsel değişikliklerden etkilenmeden optimal bir enerji kaynağı olarak kullanılabilirler (“Wind Turbine, WS-400 Wind Turbine”).

4.4.1.2.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

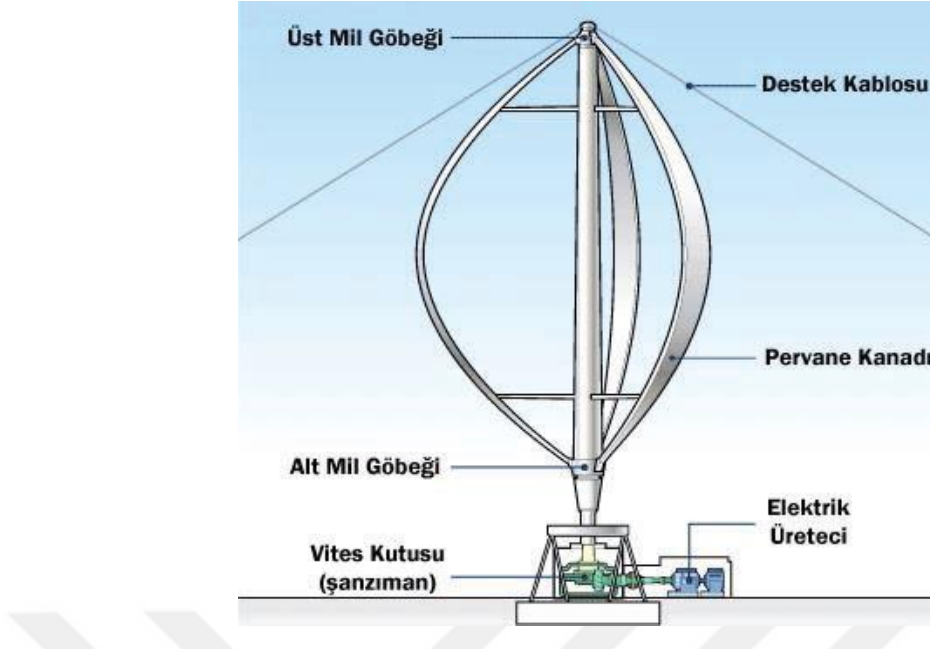
Bu rüzgâr türbinlerinin kanatları yatay eksende çalıştığı için diğer rüzgâr türbinlerine göre daha çok tercih edilmektedir. Fan kanatları, maksimum verimlilikte güç sağlamak için her zaman hava akışı yönünde olmalıdır. Bu türbinlerin çoğu rüzgârı yüzeye alacak şekilde tasarlanmalıdır. En büyük sınırlama, sürekli rüzgâra bakan bir dümen sistemine ihtiyaç duyulmasıdır. Şekil 4.4’de yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin görseli verilmiştir (“Yatay Eksenli Rüzgâr türbini”)



Şekil 4.4. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri (“Yatay Eksenli Rüzgâr türbini”)

4.4.1.2.2. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

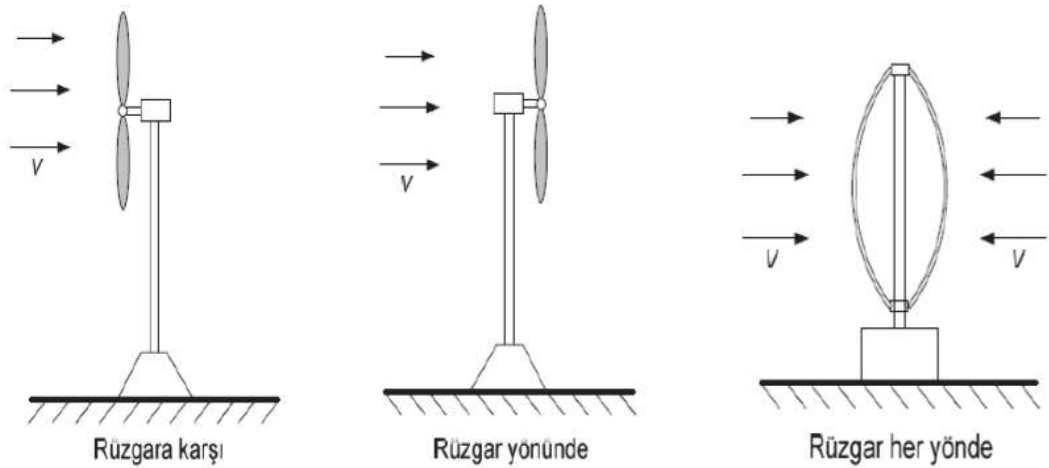
Şekil 4.5'teki dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin görüntüsü incelendiğinde kanatları yere yakın olduğu için rüzgâr hızları çok düşüktür. Bu nedenle dikey eksenli rüzgâr türbininin verimi yatay eksenli rüzgâr türbinine göre daha düşüktür. Bu durumun bir sonucu olarak ticari sektörde kullanımları önemli ölçüde azaltmıştır. En önemli avantajı her yönden rüzgâr almalarıdır. Bu nedenle dümen sistemine ihtiyaç yoktur. Dönme hızları diğer türbinlere kıyasla düşüktür. Özellikle sessiz çalıştıkları için kentsel ortamlarda kullanıma daha uygundur. Rüzgâr türbinlerini kentsel alanların yakınına yerleştirmenin en önemli avantajı, üretilen elektriğin yok olmaması ve anında tüketilebilmesidir (“Batmanda Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini”).



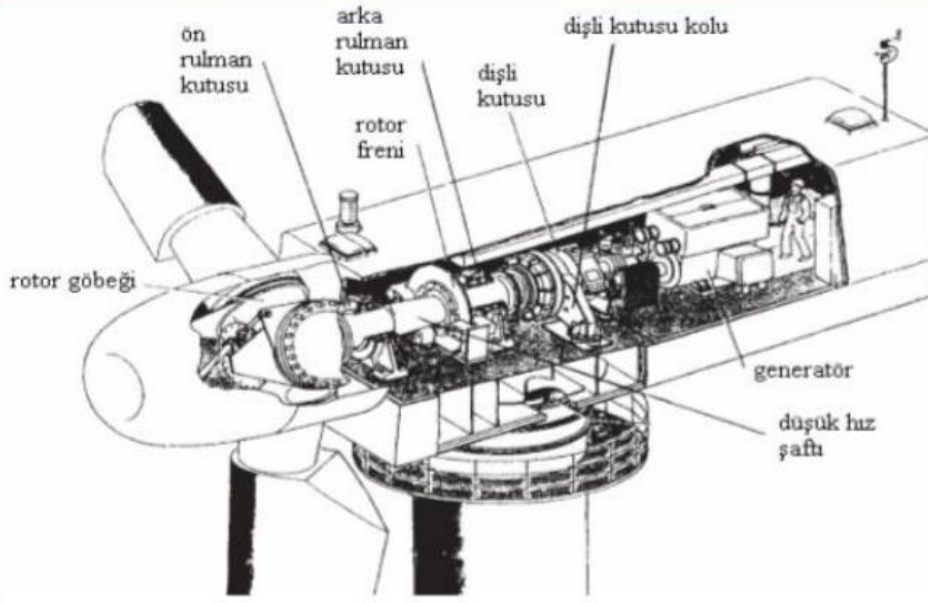
Şekil 4.5. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinleri (“Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini”)

4.4.1.2.3. Rüzgâr Türbin Konfigürasyonları ve Ayrıntılı Yapısı

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri hem ileri, hem de geri rüzgârı çalıştırabilmektedir. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri rüzgârı tek yönden değil her yönden kabul eder. Yatay eksenli rüzgâr türbini daha uzun olduğu için günümüzde çoğu modern rüzgâr türbini bu tip rüzgâr türbini kullanmaktadır. Rüzgâr yönleri ve rüzgâr türbini yapısı sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir (“Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini”, “Yatay Eksenli Rüzgâr türbini”).



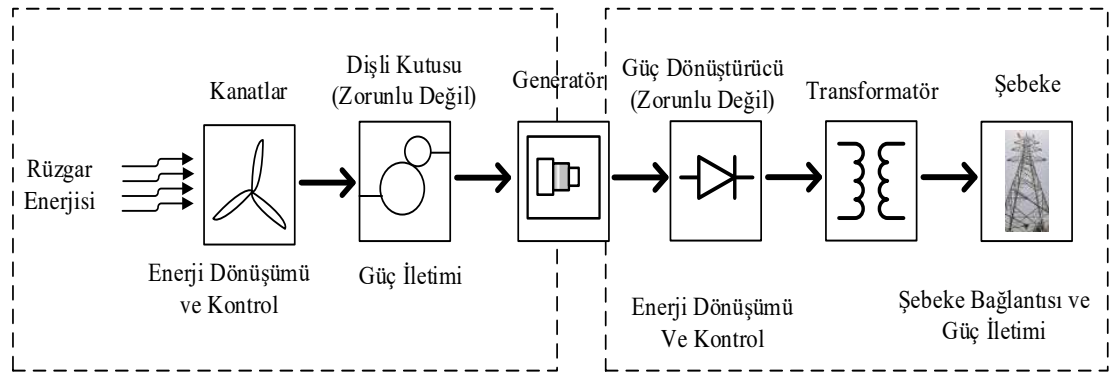
Şekil 4.6. Rüzgâr yönleri (“Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini” , “Yatay Eksenli Rüzgâr türbini”)



Şekil 4.7. Rüzgâr Türbinin Yapısı (‘‘Yatay Eksenli Rüzgâr türbini’’)

4.4.1.2.4. Rüzgâr Enerjisinin Elektrik Enerjisine Dönüşümü

Türbin kanatları rüzgârın kinetik enerjisini alır. Kinetik enerji rotorda mekanik enerjiye dönüşür. Pervane milinin devir hareketi yüksek hız seviyesine çıkarılır ve jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi sistem şebekeye bağlı ise şebekeye aktarılır, şebekeden bağımsız ise akülerde depolanır. Rüzgâr enerjisi dönüşümü blok diyagramı Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Rüzgâr Enerji Dönüşümü blok diyagramı (‘‘Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini’’, ‘‘Yatay Eksenli Rüzgâr türbini’’)

Diyagramda belirtilen;

Türbin rotoru: Aerodinamik tasarımı sayesinde rüzgârdan gelen enerjinin bir kısmını kanatları ile yakalar ve mekanik enerjiye dönüştürür.

Dişli Kutusu: Düşük hızdaki mekanik enerjiyi hızlandırarak artırır.

Jeneratör: Yüksek devirli mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür.

Güç Dönüştürücü: Rüzgâr sistemine bağlı olarak güç elektroniği üniteleri ile elektrik enerjisini farklı şekillerde düzenler.

Trafo ve iletim hattı: Sayaçlar ve devre kesiciler aracılığıyla yerel elektrik şebekesine bağlanır.

4.4.1.3. Dizel Jeneratör

Genellikle dizel jeneratör olarak adlandırılır ancak dizelin yanı sıra yakıt olarak biyogaz, doğal gaz ve benzin de vardır. Dünyada en çok kullanılan ve tercih edilen jeneratörler olduğu için kolaylıkla satın alınabilir. Yenilenebilir sistemlerde de en çok tercih edilen jeneratör türüdür. Bu tip jeneratör en çok elektrik şebekesinden uzak alanlarda kullanılır. Dizel jeneratörlerin yaklaşık 25.000-30.000 çalışma saati vardır. Dizel jeneratörler, düşük verim ve yüksek yüklerle daha verimli çalışır. Tüketim düşük olduğu zaman darbe yükü kullanmak daha uygundur. Ancak Jeneratör boyutlandırması doğru yapılmalıdır. Çünkü aşırı yüklendiğinde performansları azalır, ısı ve sürtünmeden dolayı aşınmalar artar (Demirtaş, 2008).

4.4.1.4. Bataryalar

Bataryalar enerjiyi kimyasal olarak depolamaktadır. Daha sonra ürettikleri fazla enerjiden yararlanmak için yenilenebilir enerji üretim sistemleri ile kullanılırlar. Hibrit enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılan akü tipi, deşarjı izin veren sabit bir kurşun asit aküdür. Sıcaklık, pilin performansını ve çalışma süresini etkileyen bir faktördür. Çalışma koşullarında her 10 santigrat derecelik artış pilin çalışma süresini yarıya indirirken, aynı zamanda negatif sıcaklıklarda şarj verimini düşürür. Bataryalar hibrit sistemlerde sürekli beslenebildiği için kolay kolay deşarj olmaz. Hibrit sistem, tek kaynaklı sisteme göre daha karmaşık bir kontrol sistemine sahiptir ve pilin aşırı şarj edilmesini önler ("Norm Enerji Sistemleri Ltd, Krocera Güneş Pilleri, KC200GTH-2 Güneş Paneli Katoloğu").

4.4.1.5. Yükler

Her gün kullandığımız elektrikli cihazların çoğu 12/24V DC veya 220/380 V AC voltajla çalışır. Hibrit güç sisteminde kullanılan tüm kaynaklar, DC çıkışlıdır. DC cihazları özel olarak üretildiği için çok pahalıdır ve bulunması oldukça zordur. AC ile çalışan cihazlar diğerlerinden daha ucuz olduğu için maliyetleri düşüktür ve kolayca bulunabilirler (Diaf, Notton, Belhamel, Haddadi, & Louche, 2008).

4.4.1.6. Doğrultucular

AC çıkış güç kaynağı ve akü şarjı için kullanılan AC/DC doğrultucu düşük maliyetli ve basit bir yapıya sahiptir. Rüzgâr türbinleri ve dizel jeneratörler üç fazlı AC çıkışı sağlar. Bu çıkışlar bir doğrultucu tarafından doğrultulur, pil veya invertörün girişine uygulanır. Akü şarj alternatif kaynaklarının çıkışına yerleştirilen sensörler genellikle akü şarj regülatörü ile tasarlanmaktadır (Ozdamar, Ozbalta, Akin, & Yildirim, 2005).

4.4.1.7. Batarya Regülâtörleri

Şebekeden bağımsız çalışan hibrit sistemlerde sistem çalışmasını kontrol etmek için kullanılsalar da sisteme bağlı olarak daha uzun ömürlü ve iyi performans göstermektedirler. (“Tristar Şarj Regülâtörünün Teknik Özellikleri”).

4.4.1.8. Şarj Regülâtörleri

Bir şarj regülâtörünün amacı , pilleri derin deşarjdan korumak ve şarj etmektir. Aşırı şarj nedeniyle akü, elektrolitten zarar görür. Ayrıca, aşırı şarj pile zarar verir. Şarj kontrol elektroniği çok hassas olduğundan, fotovoltaiik sistemin sabit çalışmasını sağlamak çok önemlidir. Şarj kontrolörü arızalanırsa pillerin değiştirilmesi gerekir ve bakım maliyetleri oldukça yüksektir. Şarj kontrolör verimlilik yüzdesi, dikkate alınması gereken önemli bir etkidir (“Tristar Şarj Regülâtörünün Teknik Özellikleri”).

4.4.1.8.1. Pwm Şarj Regülâtörü

Şarj regülâtörü, güneş enerjisi sistemlerinde bağımsız kullanım için en uygun çözümdür. Pil durumu ve şarj durumu gibi bilgilerin bulunduğu LCD veya LED ekranlar büyük bir avantaj sağlamaktadır. Açık ve kapalı kurşun-asit aküler daha iyi doldurulabilir. 12V ve 24V aküleri veya akü gruplarını şarj edebilir (“Tristar Şarj Regülâtörünün Teknik Özellikleri”).

4.4.1.9. Eviriciler (Inverter)

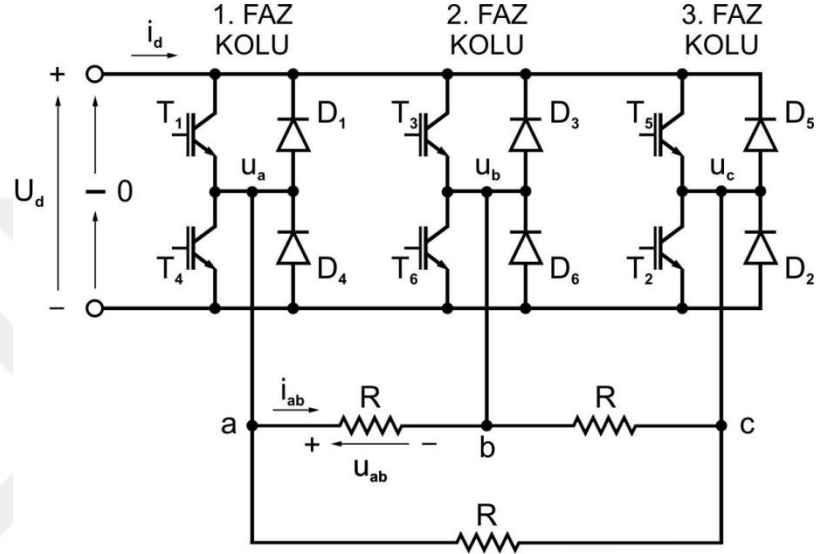
Şekil 4.9’da gösterilen Evirici, bir DC güç kaynağından bir yüke güç sağlamak için alternatif akım sağlayan bir güç elektroniği devresidir. Diğer bir ifadeyle eviricilerden beklenen asıl şey ürettikleri AC distorsiyonlarının düşük olması ve istenilen frekans ve genlikte olmasıdır. Güneş pilleri, yakıt pilleri, vb. inverterin girişinde bu şekilde DC güç çıkışları kullanılabilir. Evirici temel olarak tek fazlı veya üç fazlı olabilir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından çalışan eviriciler için şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız olmak üzere iki kullanım şekli vardır (“Cotek İnvertörlerin Teknik Özellikleri ve Birim Fiyatları”, “Norm Enerji Sistemleri Ltd, Krocera Güneş Pilleri, KC200GTH-2 Güneş Paneli Katoloğu”, “Powerstar W7 İnvertörün Teknik Özellikleri Ve Birim Fiyatı”).



Şekil 4.9. Evirici (“Güneş paneli invertörü”)

4.4.1.9.1. Üç Fazlı Kare Dalgı İnvterler

Üç fazlı kare dalgı invterler tek fazlı invterlere benzer şekilde çalışma prensibine sahiptir. Şekil 4.10’da üç fazlı kare dalgı invterin çalışma prensibi verilmiştir. Aynı çıkış voltajını korumak için tercih edilmektedir. Birçok uygulamada ve özellikle kesintisiz güç kaynaklarında harmoniklerin çok düşük olduğu durumlarda PWM kontrolü kullanılır. Kare dalgı eviriciler anahtarlama kayıpları açısından oldukça uygundur (“Cotek İnvterlerin Teknik Özellikleri ve Birim Fiyatları”, “Norm Enerji Sistemleri Ltd, Krocera Güneş Pilleri, KC200GTH-2 Güneş Paneli Katoloğu”, “Powerstar W7 İnvterün Teknik Özellikleri Ve Birim Fiyatı”).



Şekil 4.10. Üç fazlı kare dalgı invter(“Üç fazlı Kare Dalgı İnvter,”)

4.4.1.10. Aküler

Elektrik enerjisini kimyasal enerji şeklinde depolayan ve istenildiği zaman elektrik enerjisi olarak serbest bırakan bir cihazdır. Güneş enerjisi ile üretilen enerjiyi depolamak için kuru hücreler, OPzS ve jel pillerde kullanılır. Şekil 4.11’de Fotovoltaik sistemdeki enerjiyi depo eden akülerin görseli verilmiştir (“Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri”).



Şekil 4.11. Fotovoltaik Sistemdeki Enerjiyi Depo Eden Aküler (“Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri,”)

4.4.1.10.1. Tüplü Sabit Tesis (OPzS) Akü

Sürekli enerji kaynağı olarak sisteme bağlanarak üretilen sabit bir bataryadır. Kullanıcı için gerilim kontrol sistemi ile donatıldığından neredeyse bakım gerektirmez ve düşük enerji maliyetlerine sahiptirler. (“Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri,”).

4.4.1.10.2 Jel Akü

Jel akülerde sülfürik asit ve isli silika karıştırılarak homojen bir yapı elde edilir. Jel akü modellerinin sık sık popüler olmasının en önemli etkisi, yüksek sıcaklıklara ve titreşimlere dayanabilme özellikleridir. Bu özelliğinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarında tercih edilmektedir. Jel akülerin avantajlarından biri de derin deşarj işlevidir. Derin deşarj işlevi, pil yeniden şarj edildiğinde dahili dolmadan etkilenmez. Bu nedenle diğer pil şarj sorunları ile karşılaşmayacaktır. Bu özelliği sayesinde jel aküler uzun ömürlü ve performansı yüksek ürünlerdir (“Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri,”)

4.4.1.10. 3 Kuru Akü

Kuru Akü uygun fiyatı ve iyi performansı nedeniyle TP ve TPD (yüksek akım kapasitesi) modellerinde tercih edilmektedir. Bu tamamen kapalı, bakım gerektirmeyen kuru bir aküdür. Geniş bir sıcaklık aralığında, dikey veya yatay herhangi bir pozisyonda kullanılabilir. Ters çevrildiklerinde dahi asit sızdırmazlar (“Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri,”).

4.5. Şebeke Bağlantılı Sistem

Şebekeye bağlı (şebeke üzerinde) bir fotovoltaik sistemde, üretilen elektrik aküde depolanmaz. Projeksiyon aşaması gerçekleşir. Projeksiyon aşamasından sonra üretilen veya ihtiyaç duyulan enerji miktarı belirlenir. Atmosferden gelen güneş ışınları güneş modülleri ile temas ettiğinde sürekli olarak elektrik enerjisi üretilir. Üretilen bu enerji, merkezi şebekeye yüksek kapasitede bağlanabilen inverterler ile şehrin merkezi şebekesine de bağlanabilir. Sonuç olarak panellerin ürettiği enerji doğrudan şebeke sistemine gönderilir (Celik, 2003; Demirtaş, 2008; Fetanat & Khorasaninejad, 2015). Bu sistemin seçilmesindeki en önemli etken , kurulumunun kolay olması ve gerekli işletme maliyetinin olmamasıdır. Dayanıklı, pratik ve taşınabilir özelliklere sahiptir.

Temel Sistem Bileşenleri;

- Fotovoltaik panel
- İnverter
- Şebeke sayacı.

Şebeke bağlantılı sistem, büyük kapasiteli fabrikaların yanı sıra ev içi ihtiyaçlara da kurulabilir. Örneğin ; Bu sayede bir evin elektrik ihtiyacı karşılanırken, üretilen fazla enerji de şebekeye aktarılır ve yeterli enerji üretilmediğinde şebekeden enerji alınır

Şebeke bağlantılı sistemin avantajları:

- Üretilen enerji doğrudan şebekeye bağlı olduğundan, üretilen enerji yeterli olmadığında şebeke doğrudan devreye girecek ve yüke enerji miktarı sağlanacaktır.
- Sistem tasarımına tüm yükü dahil etme zorunluluğu olmadığı için istenilen miktar veya alana göre tasarım yapılabilir.
- Yeterli alan bulunduğu sistemin kurulu gücü artırılabilir (Kusakana et al., 2013).

4.6. Şebekeden Bağımsız Sistemler (Off-Grid)

Off-grid sisteminde elektriğin olmadığı veya yolun ekonomik olmayan tel örgü olduğu durumlarda ana hattın sıklıkla kesilmesi durumunda güneşten gerekli enerjiyi sağlayan sistemdir. Şebekeden bağımsız çalıştığından, yıl boyunca yeterli güneş ışığı olmadığına bile kurulumun ihtiyaçlarını karşılayacak yeterli pil kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır (M. Elhadidy & Shaahid, 1999; Türkay & Telli, 2011; Wies, Johnson, Agrawal, & Chubb, 2005). Şebekeden bağımsız sistemin avantajları aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir;

- Sadece bir ilk yatırım maliyeti vardır.
- Neredeyse sıfır işletme maliyeti bulunmaktadır.
- Çok verimli ve çok düşük güç kaybına sahiptir.
- Kolay montaj mevcuttur.

Şebekeden bağımsız sistemlerin ana uygulama alanların bazıları aşağıda belirtilmiştir.

- Bağlar ve dağ evleri
- Tarımsal sulama sistemleri
- Seyahat evleri
- Tekneler
- Haberleşme istasyonları, yayın sistemleri,
- Hava istasyonlarında,
- Tabela
- Kameralar ve güvenlik sistemleri

5. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, Balıkesir İli'nde kurulan hibrit güç sistemi için kurulu gücü 7-50 kW arasında değişen 10 adet senaryo üretilmiştir. Senaryolar oluşturulurken en önemli kriterlerden biri kurulu güneş ve rüzgâr enerji değerlerinin birbirlerine yakın olmasıdır. 10 farklı hibrit güç sistemi senaryosu geliştirilmiştir. Sistem kurulu gücü 7 kW'dan 15 kW'a kadar şebekeden bağımsız; 20 kW dahil olmak üzere 50 kW'a kadar olan sistemler şebekeye bağlı olarak tasarlanmıştır.

5.1. Proje Alanı

Balıkesir İli Marmara bölgesinde bulunan coğrafi konumu önemli bir ildir. Toplamda 1.299 km² yüz ölçümüne sahiptir. 39° 0' kuzey enlemi ile 26°28' doğu boylamları arasında yer alır. Tablo 5.1'de Tasarımı yapılan sistemlere ait senaryo verileri özetlenmiştir ("Balıkesir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü,").

Tablo 5.1. Tasarımı yapılan hibrit sistem senaryo verileri

Senaryo No	Kurulu Güç (W)	Rüzgâr Türbini Modeli	Rüzgâr Türbini Gücü (W)	Rüzgâr Türbini Adet	Güneş Paneli Çeşidi	Güneş Paneli Adedi	Güneş Paneli Gücü (W)
1	7000	Whisper-500	3000	1	TT40072 PM	20	200
2	8000	Whisper-500	2000	2	TT40072 PM	16	250
3	9000	Iskra AT5-1	3000	1	TT40072 PM	30	200
4	10.000	Iskra AT5-1	5000	1	TT40072 PM	50	100
5	15.000	Bergey XL.1	2500	2	TT40072 PM	40	250
6	20.000	Bergey XL.1	10.000	1	TT40072 PM	50	200
7	30.000	Proven WT	10.000	2	TT40072 PM	20	500
8	35.000	Proven WT	15.000	1	TT40072 PM	100	200
9	40.000	Endurance G-3120	10.000	3	TT40072 PM	25	400
10	50.000	Endurance G-3120	30.000	1	TT40072 PM	50	400

5.2. Rüzgâr Hızı Verileri

Rüzgâr hızı verisi alındığında, iyi sonuçlar elde etmek ve daha verimli enerji üretmek için rüzgâr türbinleri ve ölçüm istasyonlarının düzenlenmesi gereklidir. Bir

rüzgâr santralının tasarımı ve maliyeti hesaplanırken öncelikle seçilen santral konumundan üretilen enerji miktarına göre üretilmesi gerekir. Bu nedenle arazinin seçildiği alanın yapısının uygun olup olmadığı kontrol edilerek ölçümler yapılmalı ve ardından Rüzgâr İzleme İstasyonu (RGİ) kurulmalıdır. RGİ kurulum alanı, rüzgâr yönünde olmalı ve rüzgârı etkileyecek hiçbir engelin olmadığı alanlarda seçilmelidir. Çünkü rüzgâr hızı, bozulma alanına bağlı olarak gerçek değerinden düşebilir (Malkoç,).

5.3. Rüzgâr Paneli

Hibrit sistem senaryolarında 5 farklı rüzgâr türbin modeli kullanılmıştır. Bunlar Iskra AT51 5000 W Endurance 3120 35 KW, Bergey XL1 1000 W, Whisper 500 3000 W ve Proven WT 1400 W modelleridir. Türbinlere ait teknik veriler Tablo 5.2’de görülmektedir (“Bergey BWC Excel 10 kW Wind Turbine,” 2021, “Endurance G-3120 Wind Turbine Specification,” , “Iskra AT5-1 Measured Power Curve – Summary,” , “Proven WT 15000 15 kW Wind Turbine,” , “Whisper 500, Technical Specification,”).

Tablo 5.2. Rüzgâr Türbin Özellikleri

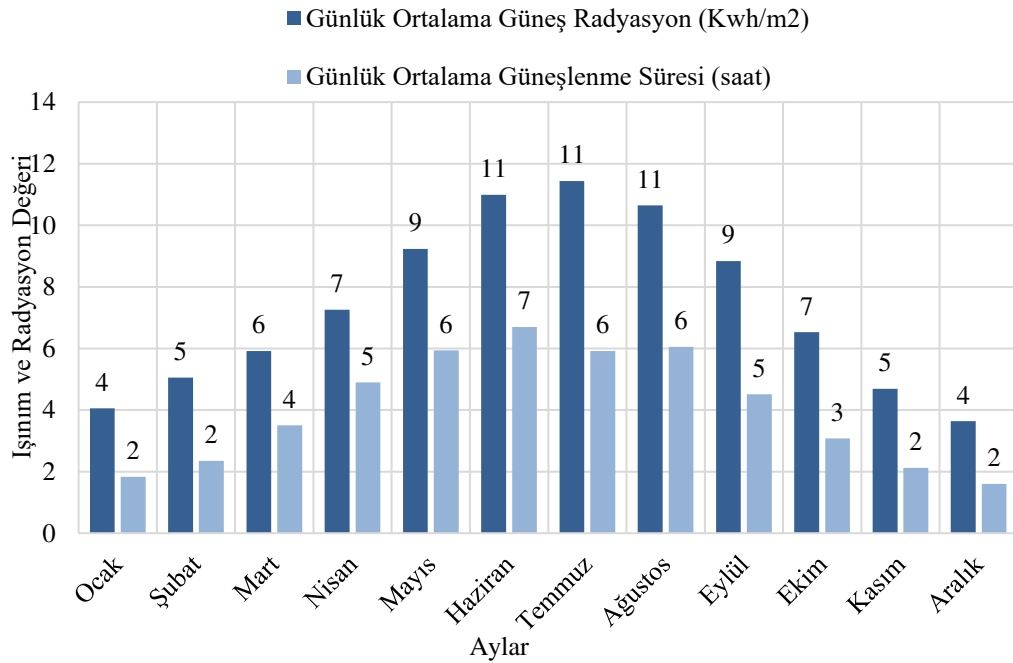
	Iskra AT5-1	Endurance G3120	Bergey XL-1	Whisper_500	Proven_WT
Nomina Güç (W)	5000	35.000	1000	3000	1400
Kanat Sayısı	3	3	3	2	3
Rotor Çapı	5,4	19,2	2	4,5	3,12
Süpürülen alan(m2)	22,89	289,5	4,9	15,9	7,65
İlk hareket hızı(m/sn)	3	3,5	2,5	3,5	3
Nominal hız	12	11	11	10,5	16
Dayanabileceği mak. hız	60	52	54	55	40

5.4. Güneş Enerji Verileri

Bölgenin güneş enerji verileri kurulacak sistemde güneş santralinden elde edilecek verim açısından oldukça önemlidir. Balıkesir İli’nin aylara göre sıcaklık ve yağış ortalaması verileri Tablo 5.3’de verilmiştir. Santral bölgesinin günlük güneş radyasyon ve günlük ortalama güneşlenme süreleri Şekil 5.1’de verilmiştir (“TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu),” 2008).

Tablo 5.3. Aylara göre sıcaklık ve yağış ortalaması (“TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu),” 2008)

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.5	6.2	8.7	12.9	17.7	22.4	24.9	23.6	21.0	15.9	10.2	6.6	14.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	8.9	11.3	15.4	19.8	25.4	30.1	32.6	32.5	28.7	22.7	16.4	10.5	21.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	0.8	1.8	3.5	6.3	10.5	15.0	18	18.5	14.2	10	5.2	2.3	8.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)	3.0	3.9	5.3	6.8	8.7	14	11.5	10.5	8.1	6.2	4.1	2.7	6.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14.2	12.8	12.4	10.2	7.8	5.8	1.4	1.5	5.0	8.5	9.2	14.2	103
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ort.(mm)	83.8	72.9	63.8	51.7	37.9	34.8	10.5	4.6	30.3	53.4	74.2	80.4	598.3



Şekil 5.1. Balıkesir Güneşlenme Süreleri (“EİEİ (Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü), Güneş Enerji Potansiyel Atlası,” 2021)

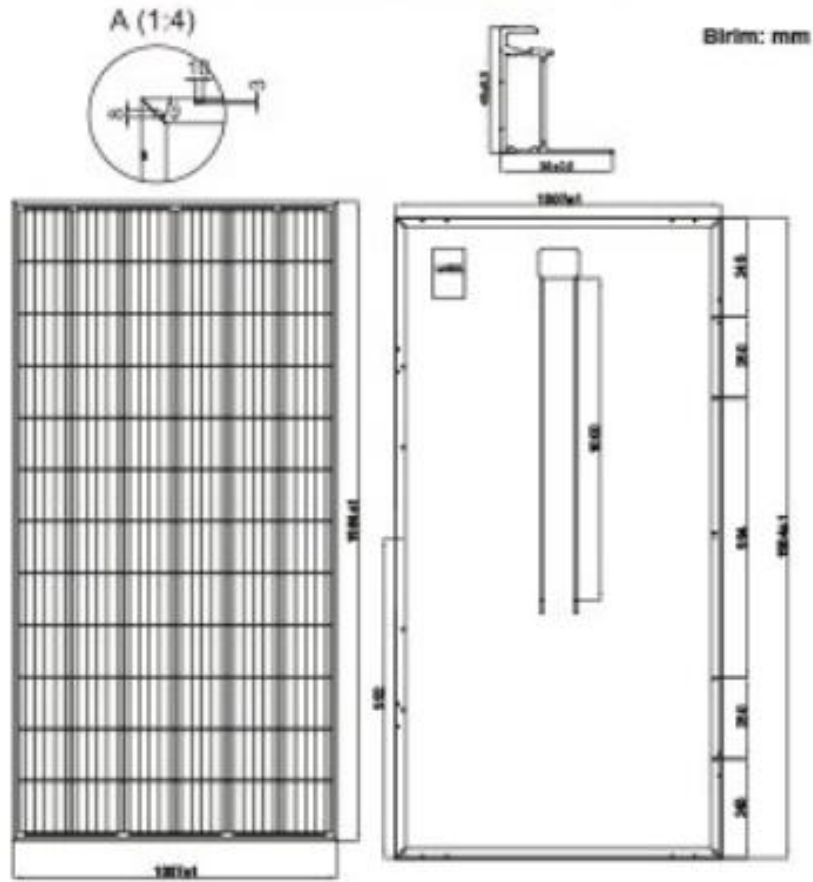
Tablo’daki ortalama sıcaklık ve yağış değerleri incelendiğinde en yüksek sıcaklık olan aylar haziran, temmuz ve ağustos, en düşük sıcaklık olan aylar aralık, ocak ve şubat aylarıdır. Günlük ortalama radyasyon verilerine göre haziran, temmuz

ve ağustos aylarında 11 kWh/m², günlük ortalama güneşlenme süresi haziran ayında 7 saat, temmuz ve ağustos aylarında ise 6 saattir.

5.5. Güneş Paneli

Çalışmada kullanılan güneş paneli monokristal güneş paneli olup, Şekil 5.2 ‘ de gösterilmiştir. Bu panelin üretiminde kristal silikon malzeme kullanılmıştır. Standart bir yapıya sahiptir ve belirgin pürüzsüz bir yapısı bulunmaktadır. Verimlilik değeri yüksek olduğu için tercih edilmiştir. Eşit ölçüdeki poli kristal hücrelere göre daha az yer kaplamaktadır. Yapısından dolayı üretim kusurları yüksek olduğundan maliyetleri de çok yüksektir. Panel seçiminde üretici kalitesi ve hücre menşei, panel tipi özelliklerinin önüne geçen önemli bir faktördür (“Solar Led, Poli Kristal Paneller,” 2021).

- Monokristal güneş panelinin boyutları 198x1007 mm’dir.
- Off Grid, On Grid Güneş Enerjisi Santrali, çatıya kurulum için idealdir.
- Toprağa, rüzgâra ve yüksek sıcaklığa çok dayanıklıdır.
- Montajı kolaydır.
- Hücre sayısı 72’dir. Maksimum 1000 Volt sistem gerilimi ile çalışır, yüksek kalite ve maksimum verimle çalışır.
- Kendi kendini temizleme özelliği bulunmaktadır.



Şekil 5.2. Güneş Paneli (“Solar Led, Poli Kristal Paneller,” 2021)

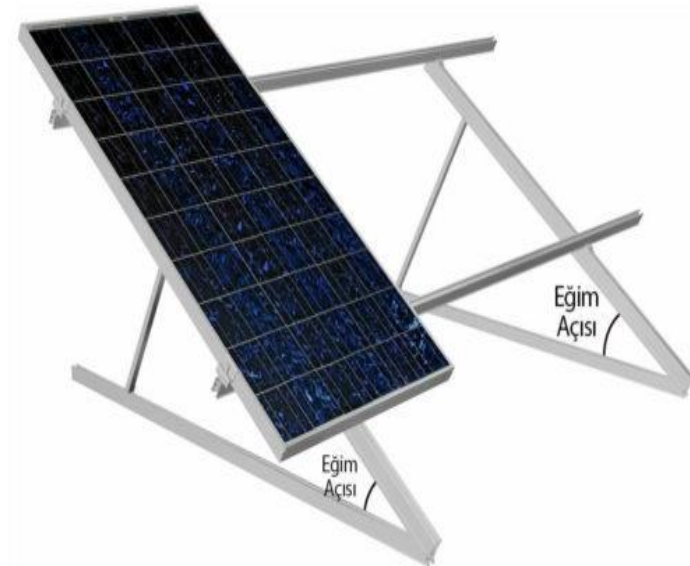
Bu çalışmada kullanılan güneş paneli modeli TT 0072 Pm olup özellikleri Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.4. Güneş Paneli TT400 72 PM özellikleri (“Tommatech 400 Watt 72 Percmono Güneş Paneli,”)

Ürün Tanıtımı	Birimi	Değer
Maksimum Güç	W	400
Modül Verimliliği	WP	20.6
Maksimum Güç Gerilimi	Vmp	41.10
Maksimum Güç Akımı	Imp	9.75
Açık Devre Gerilimi	Voc	49.83
Kısa Devre Akımı	Isc	10.38

5.6. Panel Sehpaı

Enerji sektöründeki birçok firma, çevresel koşullara karşı dayanıklılıkları, tasarrufları ve bakım gerektirmediğinden sera gazı projelerinde galvanizli çelik yapı raflarını tercih etmektedir. Sera gazı proje aşamasında hem basit, hem de hızlı montaj tekniklerinin kullanılması çok önemlidir. Şekil 5.3’de Panel sehpaı görseli verilmiştir (“Tommatech 400 Watt 72 Percmono Güneş Paneli,”).



Şekil 5.3. Panel Sehpaı (“Tommatech 400 Watt 72 Percmono Güneş Paneli,”)

5.7. Evirici

Bu çalışma için REVOE PLUS 35 serisi solar inverter 3-5. 5 kW geniş PV giriş aralığı 120-450 V DC, kullanılmış olup teknik özellikleri aşağıda verilmiştir (“REVOE PLUS 35 inverter teknik özellikler,”).

- Hybrid Solar Inverter (On / Off Grid Inverter).
- Çıkış güç faktörü PF = 1.0
- Şebekede enerji depolaması var.
- Yapılandırılabilir LCD ayarları AC /Solar şarj önceliği.
- Pil performansını optimize etmek için akıllı pil şarj cihazı tasarımı.

5.8. Akü

Bu çalışmada kullanılan 12V mutlu efb tam enerji batarya kullanılmıştır özellikleri Tablo 5.5’te verildiği gibidir.

Tablo 5.5. Akü Teknik Özellikleri (“Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri,”)

Kodu	Kapasite	CCA EN	CCA SEN	Kutuplar	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik
L1.48.030.A	K20/K5 48/40	300	320	1	B3	207	175
FL2.60.036.A	K20/K5 60/50	360	380	1	B4	242	175
FL3.75.048.A	K20/K5 95/80	480	500	1	B5	278	175
FL5.95.064.A	K20/K5 48/43	640	660	1	B13	353	175
FHM.100.064.A	K20/K5 48/44	100	85	1	B3	323	176

5.9. Rüzgâr Türbinlerinde Matematiksel Hesaplamalar

Rüzgâr türbinlerinin ilk teorisi 1926'da Albert BETZ tarafından geliştirilmiştir. Bu teoreme Betz teoremi adı verilmiş ve bu teorem ile rüzgâr gülünün ideal olduğu varsayılmıştır. Bu arada, rüzgâr gülünün harika bir güç dönüştürücü olduğu söylemiştir (Demirtaş, 2008). Eşitlik 1’de “v” hızı ile hareket etmekte olan “m” kütleli havanın kinetik enerjisi SI birim sistemine göre,


$$WKE = \frac{1}{2} mV^2 \quad (5.1)$$

Bu yönde hareket eden bir gaz akımının mekanik enerjisi Eşitlik 5.2 ‘de verilmiştir.

$$A = P = \frac{dWKE}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m V^2 \right) = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} V^2 \quad (5.2)$$

V hızında , m kütleli , ρ Havanın yoğunluğunda ve A rotorunu temsil etmekte olup esmekte olan bir rüzgârdan elde edilecek olan güç ise Eşitlik 5.3 ‘teki denklem ile hesaplanır.

$$P = \left(\frac{1}{2} m V^2 \right), m = \rho A V, P = \left(\frac{1}{2} \rho A V^3 \right) \quad (5.3)$$

5.9.1. Rüzgâr Gücüne Etki Eden Parametreler

5.9.1.1. Yatay Eksenli Türbin İçin Rotor Süpürme Alanı;

Eşitlik 5.4’te P gücü yatay eksenli bir türbin için rotor çapları (A) ve rüzgâr gücü (D) süpürülen alan ile orantılıdır.

$$A = \pi D^2 / 4 \quad (5.4)$$

Dolayısıyla rüzgâr D^2 ile orantılı olacaktır. Başka bir ifadeyle, kanat çapı iki katına çıktığında rüzgâr kuvveti dört kat artacaktır. Bir rüzgâr türbininin maliyeti, kanadın çapı ile artmaktadır. Bu nedenle büyük rüzgâr türbinleri daha avantajlı ve daha ekonomiktir (“Batmanda Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini,”).

5.9.1.2. Sıcaklığın Hava Yoğunluğuna Etkisi

Aşağıda Eşitlik 5.5’te Hava yoğunluğu etkisi belirtilmiştir (“Yatay Eksenli Rüzgâr türbini,”).

$$p = \frac{P * MA * 10^{-2}}{R * T} 8.2056 * 10^{-5} \left[\frac{m^2 atm}{K mol} \right] \quad (5.5)$$

R: İdeal Gaz Sabiti:

P: Mutlak Basınç (1 atm)

T: Mutlak Sıcaklık (K:Kelvin)

MA: Gazın Moleküler Ağırlığı (g/mol)

5.9.1.3. Rüzgâr Türbini Yer Seçimi

Rüzgârın gücü ve bulunduğu bölgenin diğer özellikleri santralin verimini etkileyeceğinden rüzgâr türbininin konumu oldukça önemlidir.

Rüzgâr türbininden yüksek verim almak için yuvarlak tepelere, kuvvetli rüzgâr alanlarına kurulmalıdır.

Rüzgâr türbini verimlerinin düşük olduğu yerlere örnek olarak sarp tepeler, rüzgâr yönüne dik vadiler, dar vadiler veya kanyonlar verilebilir (M. Elhadidy & Shaahid, 1999).

5.10. Güneş Enerjisi Hesapları

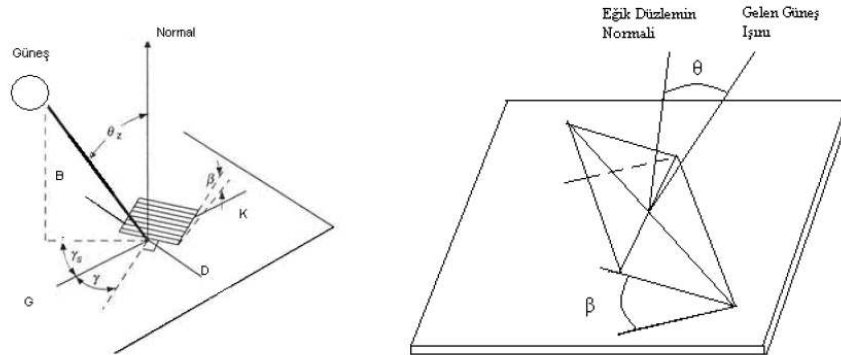
Güneş, Dünya'dan yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta bulunan sıcak gaz küresidir. Tahmini yüzey sıcaklığı 6000°K civarındadır. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki hidrojen gazını helyuma çeviren füzyon reaksiyonları sonucunda oluşan çok güçlü bir enerji kaynağıdır. Güneş radyasyonu, her yıl dünya atmosferinden yaklaşık 700 x 10¹² MWh' de geçer; bu şu anda dünyada kullanılan enerjinin 10.000 katından fazla olduğu anlamına gelmektedir.

Güneş radyasyonu, Dünya atmosferinden geçtiğinde yansıma tersine dönecektir. Güneş radyasyonu toprak ve su tarafından emilir, ancak çoğu atmosfere geri yansır. Dünya atmosferinin üst sınırında güneş ışınlarının gelişine dik olarak yüzeye düşen ortalama güneş enerjisi, literatürde güneş sabiti I_0 (W/m²) olarak adlandırılır ve değeri 1353 W/m²'dir.

Bu güneş radyasyonu literatürde dünya dışı radyasyon olarak geçmektedir. Dünya ile güneş arasındaki mesafe yıl içinde değiştiği için güneş sabitinin değeri de değişir. Buna göre, atmosfer dışındaki yatay bir düzleme dik dünya dışı (dünya dışı güneş radyasyonu) güneş radyasyonunun yoğunluğu Eşitlik 5.6 ile hesaplanır.

$$I_{on} = I_0 \left(1 + 0,0033 \cos \frac{360n}{365}\right) \quad (5.6)$$

Güneş geliş açıları şematik olarak Şekil 5.4'te eğik bir düzlem üzerinde gösterilerek simgelerle ifade edilmiştir (Köse, 2010).



Şekil 5.4. Güneş geliş ışınları (Köse, 2010)

Şekil 5.4.'te gösterilen niceliklerden bazıları aşağıda açıklanmıştır:

θ_z : Doğrudan güneş ışınımının yatay düzleme dik olduğu açıya zenit açısı denir.

θ : Eğik düzlemin normali ile direkt güneş ışıını arasındaki açıdır. Buna güneşin gelme açısı denir.

δ : Güneş gök küresinin ekvatora göre açısal yüksekliğini gösterir ve buna eşdeğerlik noktası denir.

Bu eşdeğerlik noktası $-23.45^\circ < \delta < +23.45^\circ$ arasında değerler alır. Ölçülen değerlere en yakın değerleri veren ifade ise Cooper 'in ampirik denklemi ile bulunur ve aşağıda Eşitlik 5.7'de gösterilmiştir.

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (5.7)$$

Burada;

β : Eğik düzlemin yatayla yaptığı açı,

γ : Eğik düzlemin yatay düzlem içinde konumunu veren açı,

γ_s : Azimut, güneş ışıınının yatay düzlemde güneye doğru yaptığı açı,

Φ : Coğrafi enlem açısı,

ω : Saat açısı,

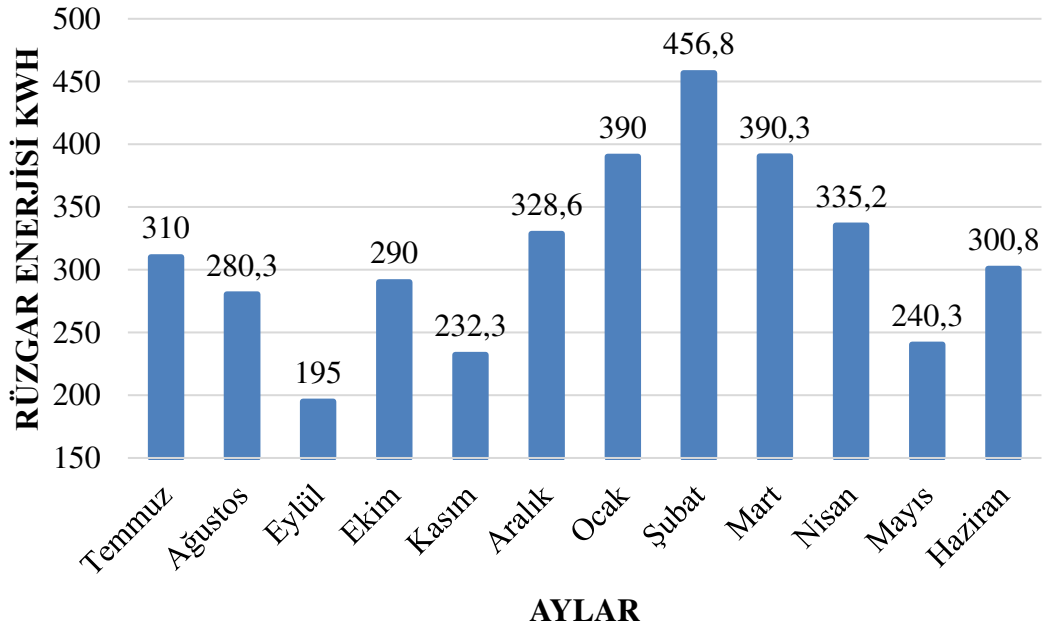
n : yılın gün sayısını ifade eder.

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

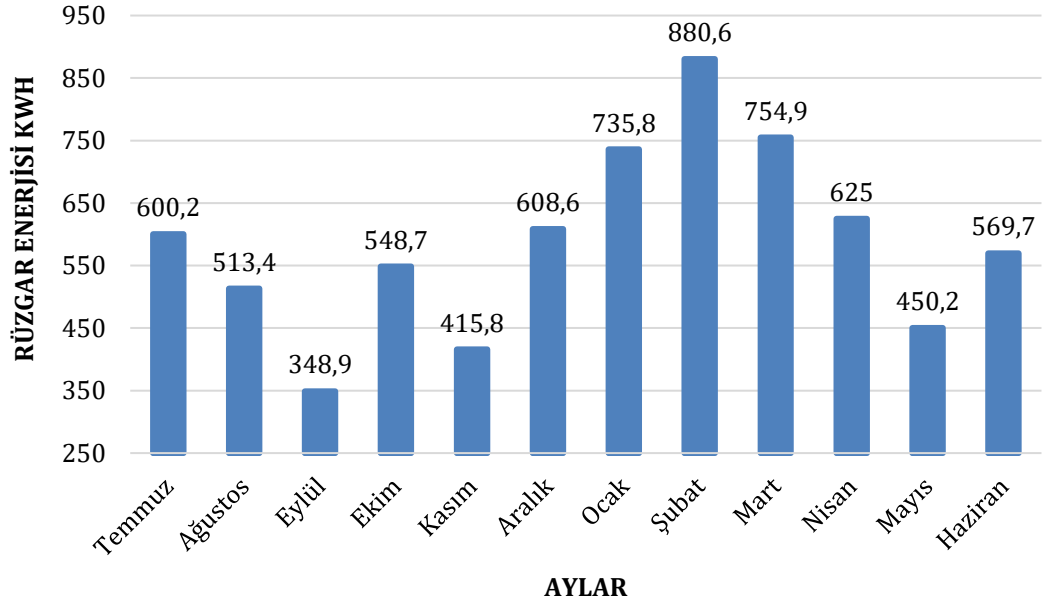
Çalışmanın bu bölümünde bölgenin rüzgâr analizi verileri, kurulacak hibrit sistem tasarımları ve hibrit sistemlerden elde edilen aylık üretim değerleri verilmiştir. Analizlerde gerçeğe yakın değerler veren PvSOL analiz programı kullanılmıştır. Hibrit enerji sisteminin kurulumunda 10 farklı senaryoya göre rüzgâr türbinlerinden rüzgâr enerjisi, güneş panellerinden güneş enerjisi elde edilmektedir. Senaryolar oluşturulurken hibrit enerji sistemlerinin kurulu gücü ve sistemden elde edilecek verim nedeniyle farklılıklar olacaktır. Şebekeden bağımsız olarak oluşturulan 5 senaryo için inverterler, şarj kontrolörleri ve akümülatörler gibi diğer sistem bileşenleri de analiz edilmiştir. Hibrit enerji sisteminin kurulumu sırasında rüzgâr, güneş ve hibrit enerji üretim değerleri her ay için hesaplanmıştır. Şebekeden bağımsız bir hibrit güç sisteminde akü seçerken, aküde toplam enerji birikeceği için üretimin en yüksek olduğu ay çok önemlidir. Dolayısıyla komponent kapasitesi seçerken dikkat edilmesi gereken en önemli özellik, şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemlerde aylık hibrit enerji çıkışının en yüksek olduğu aya göre hesaplama yapılmasıdır. Bu nedenle tüm senaryolar oluşturulurken en yüksek üretim olan ay baz alınarak bileşenlerin kapasitesi seçilmiş ve hibrit enerji sistemlerinin senaryo tasarımı gerçekleştirilmiştir.

6. 1. Bölgenin Rüzgâr Potansiyeline İlişkin Bulgular

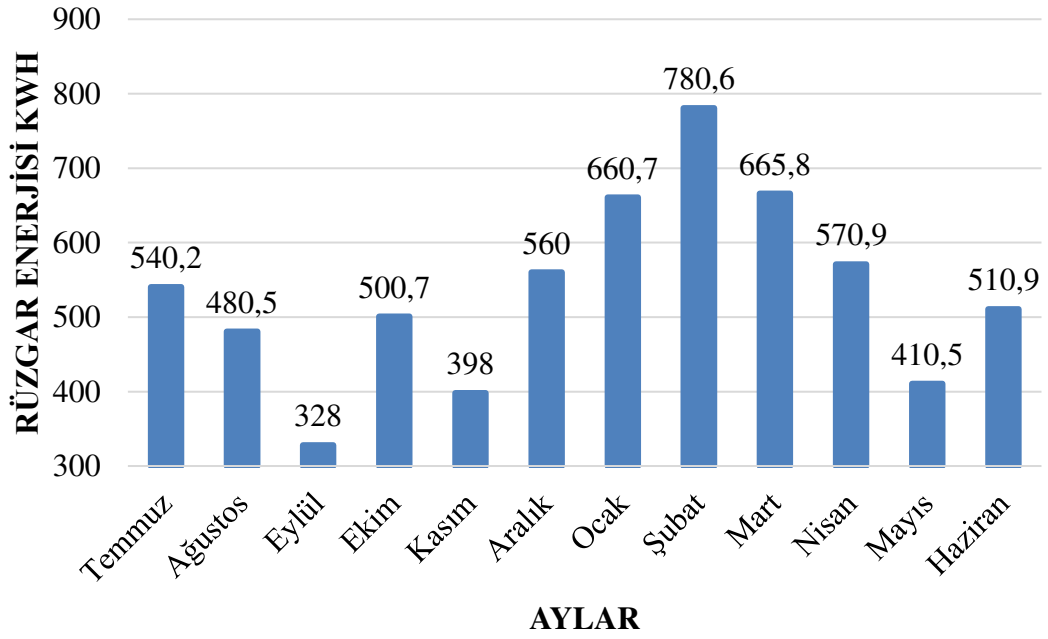
Tasarımı yapılan sistemlerde 5 farklı tip rüzgâr türbini kullanılmıştır. Her rüzgâr türbinin kapasitesi farklılık göstermektedir. Her bir rüzgâr türbinine ait aylık rüzgâr enerjisi verileri Şekil 6.1 -6.5’de verilmiştir.



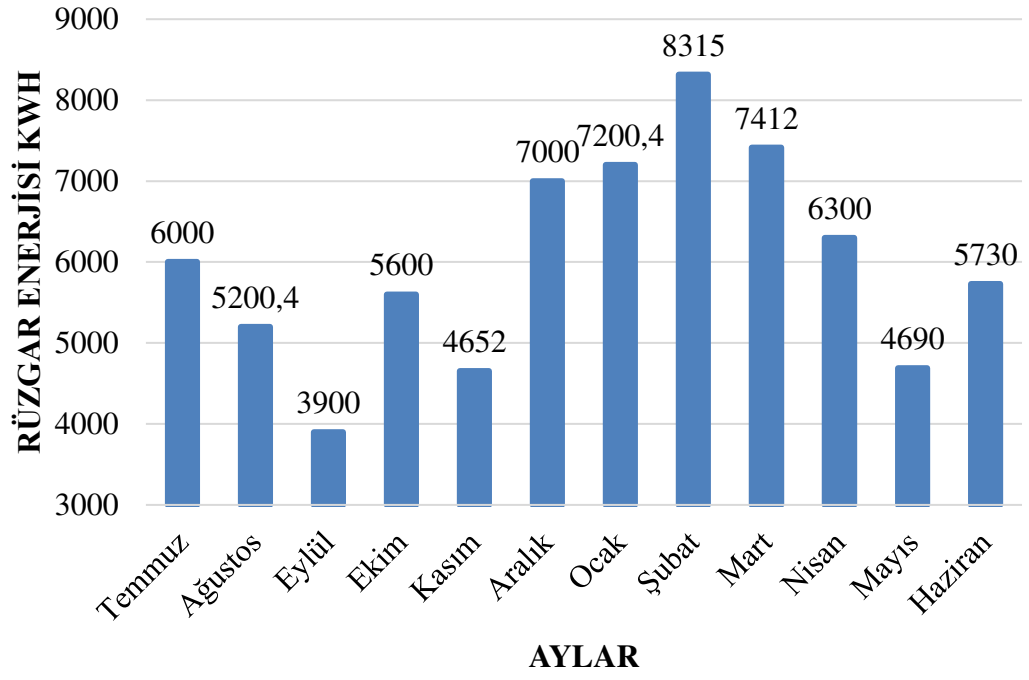
Şekil 6.1. Whisper 500 Rüzgâr Türbin Eğrisi



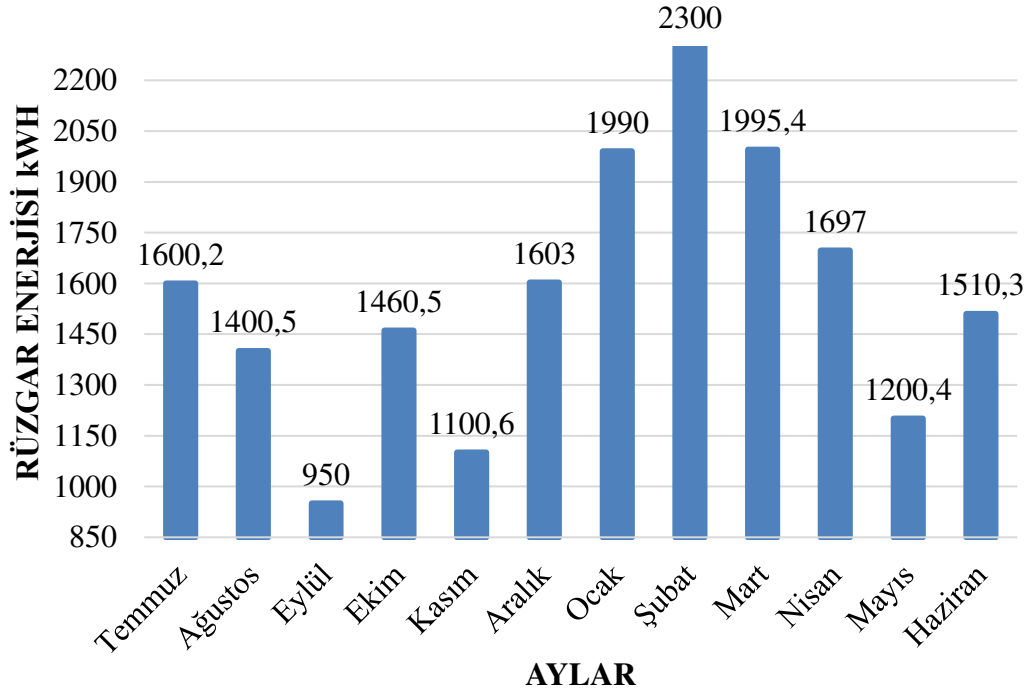
Şekil 6.2. BERGEY XL -1 Rüzgâr Türbin Eğrisi



Şekil 6.3. Iskra At5-1 Rüzgâr Türbin Eğrisi



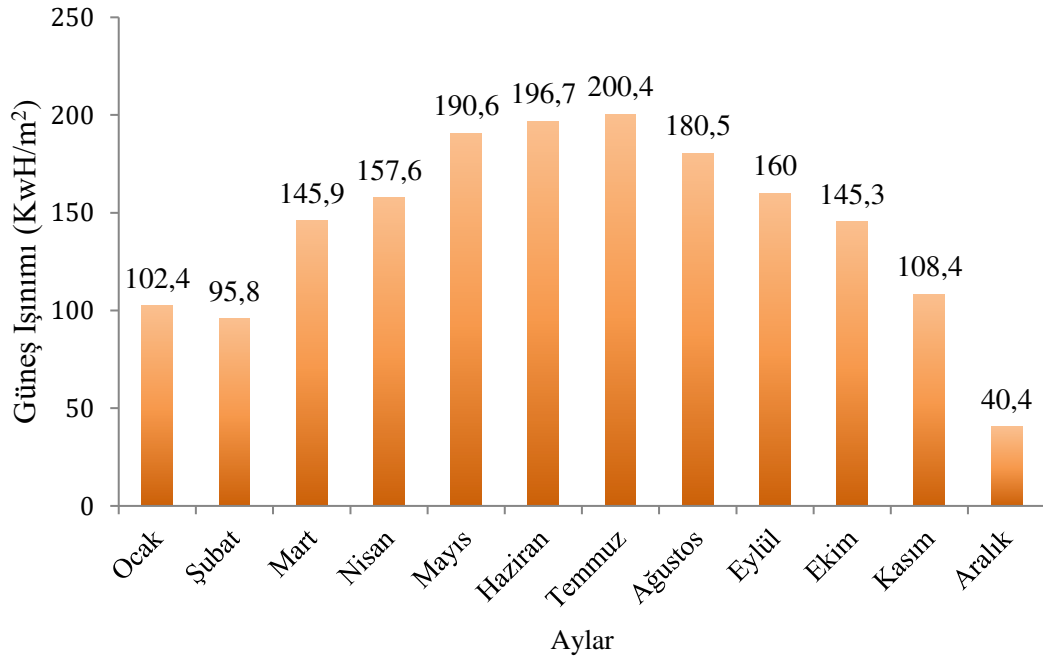
Şekil 6.4. Endurance G 3120 Rüzgâr Türbin Eğrisi



Şekil 6.5. Proven WT Rüzgâr Türbin Eğrisi

6.2. Güneş Enerji Sistemine İlişkin Bulgular

Güneş sistemi keşifleri yapıldığında, güneş enerjisi santrallerinden elde edilen veriler kullanılır. Şekil 6.6'da Güneş Işınım değerleri ve aylara göre güneş paneline gelen en yüksek ışıınım değerleri gösterilmiştir. Güneş ışıınımı konusunda daha iyi bir sonuç elde etmek için, güneş panelinin görelî konumu için güneş panelinin yatay açısı olan β ve açısâl değerleri γ olan güneş panellerinin kurulacağı alanı tanımlamak gerekir. Yılın tüm aylarına bakıldığında güneş paneli yerleştirilerek aylık olarak farklı β değerleri ile $\gamma = 0$ olacak en fazla ışıınım değeri elde edilir. Aşağıdaki çizelgeye bakıldığında, sıcaklıkların en yüksek olduğu haziran ve temmuz aylarında güneş ışıınımı 196,7 ve 200,4 iken en düşük 40,4 ile aralık ayındadır.

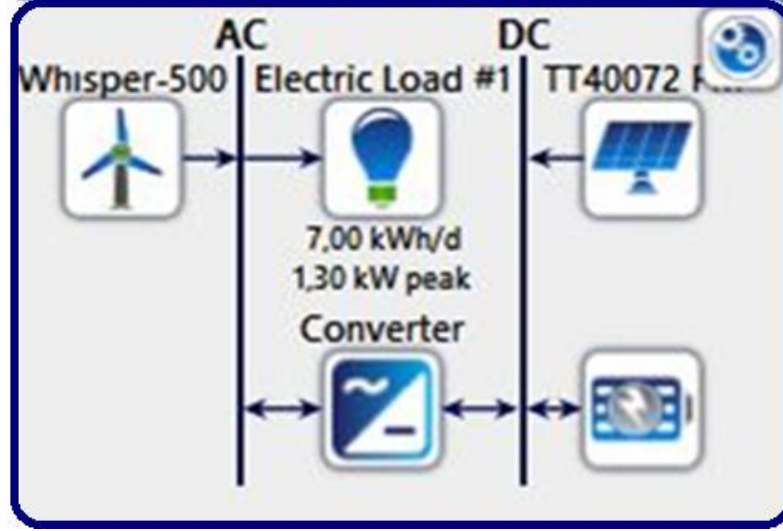


Şekil 6.6. Balıkesir İli aylık güneş ışıınım değerleri

6.3. Şebekeden Bağımsız Senaryolar ve Elde Edilen Üretim Verileri

Şebekeden bağımsız olarak tasarım yapılan 1. Senaryo modeli Şekil 6.7'de verilmiştir. Sitem toplam 7000 W'tan oluşmaktadır. Dengeli dağılım için 3000 W'ı rüzgâr, 4000 W'ı güneşten enerji üretimidir. Sistemde rüzgâr türbini olarak 3000W güce sahip 1 adet Whisper 500 türbini kullanılmıştır. Güneş paneli olarak 200W gücündeki TT40072 güneş panellerinden 20 adet kullanılmıştır. Aynı zamanda akımı güneş panelinin ışıınım değerine bağılı olarak TT40072 PM güneş paneli 4 A' lik bir akım verir.

Bu sayede güneş panelinin 1 saatte ürettiği enerji $P_{yüksek} = 24 \times (20 \times 4A) = 1920 \text{ W'}$ tır. Sistemde 2 adet Lexron KS5000 inverter ve 7 adet tam 12V mutlu efb enerji akü kullanılmıştır. Analizlerde elde edilen değerlere göre sistemin aylık hibrit enerji üretimi verileri Tablo 6.1'de verilmiştir. Tablolarda belirtilen GES güneş panellerinden üretilen enerjiyi, RES rüzgâr türbinlerinden üretilen enerjiyi, Hibrit enerji ise toplam üretilen enerjiyi ifade etmektedir.



Şekil 6.7. Senaryo 1 Şeması

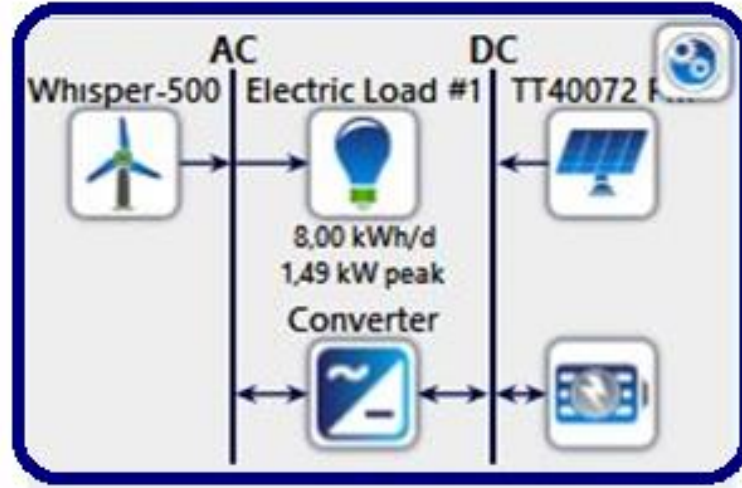
Tablo 6.1. Senaryo 1 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	400,2	390,3	790,5
Şubat	398,5	460,5	859
Mart	560,4	390,4	950,8
Nisan	630,8	340,8	971,6
Mayıs	760,5	235,4	995,9
Haziran	780,9	295,6	1076,5
Temmuz	795,4	310,8	1106,2
Ağustos	730,6	270,5	1001,1
Eylül	650	190,2	840,2
Ekim	572	293,4	865,4
Kasım	425,3	235,8	661,1
Aralık	360,8	340,5	701,3
Toplam	7065,4	3754,2	10819,6

Şebekeden bağımsız olarak tasarım yapılan 2. Senaryo modeli Şekil 6.8’de verilmiştir. 8000W’lık sistemde 4000W’lık kısmı rüzgâr, 4000W’lık kısmı güneş enerji sistemi oluşturmaktadır. Sistemde rüzgâr türbini olarak 2000W kapasiteli Whisper 500 türbininden 2 adet kullanılmıştır. Güneş paneli olarak 250W gücündeki TT40072 PM güneş panellerinden 16 adet kullanılmıştır. Whisper 500 rüzgâr türbini aylık 310 kWh enerji üretmiş ve paralel bağlı 35 adet TT0072 PM güneş panelinin

voltajı sabit tutup akımlarını toplamak için paralel bağlanmıştır. Böylece güneş paneliden üretilen enerji 1 saat için;

$P_{top} = 24 \times (16 \times 4A) = 1536 \text{ W}$ 'tır. Analizlerde elde edilen değerlere göre sistemin aylık hibrit enerji üretimi verileri Tablo 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.8. Senaryo 2 Şeması

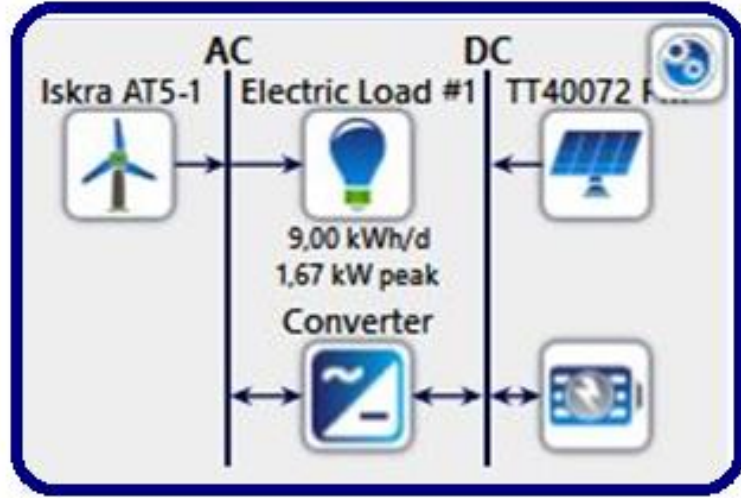
Tablo 6.2. Senaryo_2 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	495,7	390,2	885,9
Şubat	450,3	457,8	908,1
Mart	690,4	390,3	1080,7
Nisan	780,3	340,4	1120,7
Mayıs	950,1	235,7	1185,8
Haziran	970,3	295,3	1265,6
Temmuz	995,7	315,4	1311,1
Ağustos	900,6	270	1170,6
Eylül	782,3	190	972,3
Ekim	700,4	295,4	995,8
Kasım	500,1	245,7	745,8
Aralık	430,2	325,9	756,1
Toplam	8646,4	3752,1	12398,5

Şebekeden bağımsız olarak tasarım yapılan 3. Senaryo modeli Şekil 6.9'da verilmiştir. Sistemde 3000 W'lık rüzgâr ve 6000 W güneş paneli kurulumu vardır. Sistemin toplam kurulu gücü 9000W olarak belirlenmiştir. Sistemde 1 adet Iskra AT51

3000W rüzgâr türbini ve 200 W'lık güneş panelinden 30 adet TT0072 PM kullanılmıştır. Şubat ayında Iskra AT51 rüzgâr türbini aylık 780.6 kWh enerji üretmiştir ve 30 adet TT0072 PM güneş paneli paralel olarak bağlanmıştır. Böylece güneş panelinin 1 saatte ürettiği enerji;

$P_{top} = 24 \times (30 \times 4) = 2880 \text{ W}$ olup Şekil 6.9'da senaryo şeması ve aylara göre hibrit enerji üretimi Tablo 6.3'de gösterilmiştir.



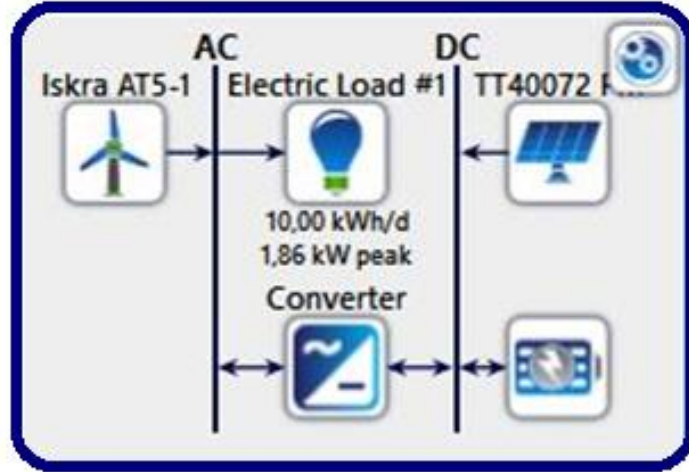
Şekil 6.9. Senaryo_3 sistem şeması

Tablo 6.3. Senaryo_3 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	395,8	650,4	1046,2
Şubat	380,2	770,6	1150,8
Mart	560,3	670,2	1230,5
Nisan	618,4	570,5	1188,9
Mayıs	760,8	410,2	1171
Haziran	775,2	510,6	1285,8
Temmuz	790,3	540,9	1331,2
Ağustos	755,4	470,3	1225,7
Eylül	621,4	328,4	949,8
Ekim	550,7	510,3	1061
Kasım	410,8	398,6	809,4
Aralık	340,6	560,3	900,9
Toplam	6959,9	6391,3	13351,2

Şebekeden bağımsız olarak tasarım yapılan 4. Senaryo modeli Şekil 10'da verilmiştir. Sistemde 5000 W'lık rüzgâr ve 5000 W güneş paneli kurulumu vardır 5000W kapasiteli Iskra AT51 rüzgâr türbinlerinden 1 adet , 100 W TT0072 PM'li güneş panelinden 50 adet kullanılmış olup , her biri 1.5 metrekaare alana sahip olup , gerilim sabit tutularak akımı toplamak için paralel olarak bağlanmıştır. Bu sayede güneş panelinin 1 saatte ürettiği enerji;

$P_{top} = 24 \times (50 \times 4) = 4800 \text{ W}$ 'tır. Şekil 6.10'da senaryo şeması ve aylara göre hibrit enerji üretimi Tablo 6.4'de gösterilmiştir.



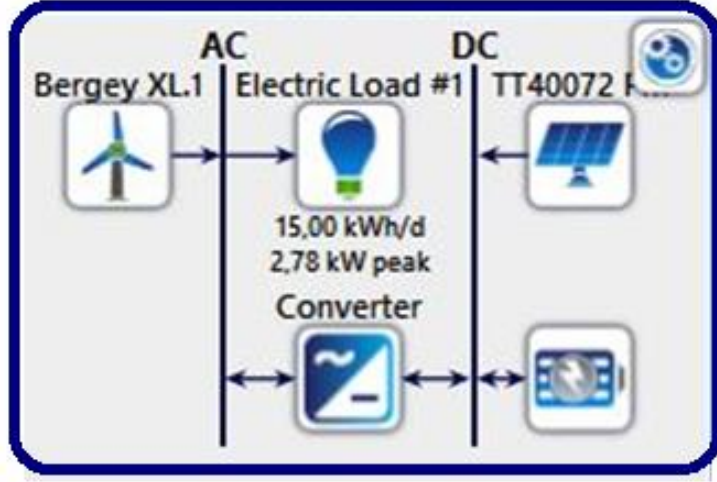
Şekil 6.10. Senaryo_4 Şeması

Tablo 6.4. Senaryo_4 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	495,4	660,4	1155,8
Şubat	472,3	780,6	1252,9
Mart	690,5	670,9	1361,4
Nisan	770,4	568,4	1338,8
Mayıs	946,8	410,3	1357,1
Haziran	970,6	510,4	1481
Temmuz	990,2	545,9	1536,1
Ağustos	910,6	470,5	1381,1
Eylül	796,4	330,9	1127,3
Ekim	710,5	498,7	1209,2
Kasım	530,9	395,4	926,3
Aralık	450,8	563,2	1014
Toplam	8735,4	6405,6	15141

Hibrit enerji sisteminin 15000 W kurulu güce sahip karma güç sisteminin 5. senaryosuna göre; Rüzgâr türbini senaryonun 5000 W kısmını, güneş paneli ise 10.000W kısmını oluşturmuştur. Senaryoda 2500 W ‘lık Bergey XL.1 rüzgâr türbinlerinden 2 tane ve 250 W'lık TT0072 PM güneş panellerinden 40 adet kullanılmıştır. Güneş panelleri gerilim sabit tutularak akımı toplamak için paralel bağlanmıştır. Bu sayede güneş panelinin 1 saatte ürettiği enerji;

$P_{top} = 24 \times (40 \times 4) = 3840W$ olup Şekil 6.11’de senaryo şeması ve aylık hibrit enerji üretimi Tablo 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Senaryo_5 Şeması

Tablo 6.5. Senaryo_5 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	495,3	735,8	1231,1
Şubat	470,2	870,5	1340,7
Mart	690,4	758,9	1449,3
Nisan	770,5	628,4	1398,9
Mayıs	945,7	445,7	1391,4
Haziran	969,9	569,7	1539,6
Temmuz	980,3	600,2	1580,5
Ağustos	910,5	512,4	1422,9
Eylül	790,5	348,9	1139,4
Ekim	690,4	545,7	1236,1
Kasım	525	415,3	940,3
Aralık	450,4	610,8	1061,2
Toplam	8689,1	7042,3	15731,4

6.4. Şebekeye Bağlı Senaryolar ve Elde Edilen Üretim Verileri

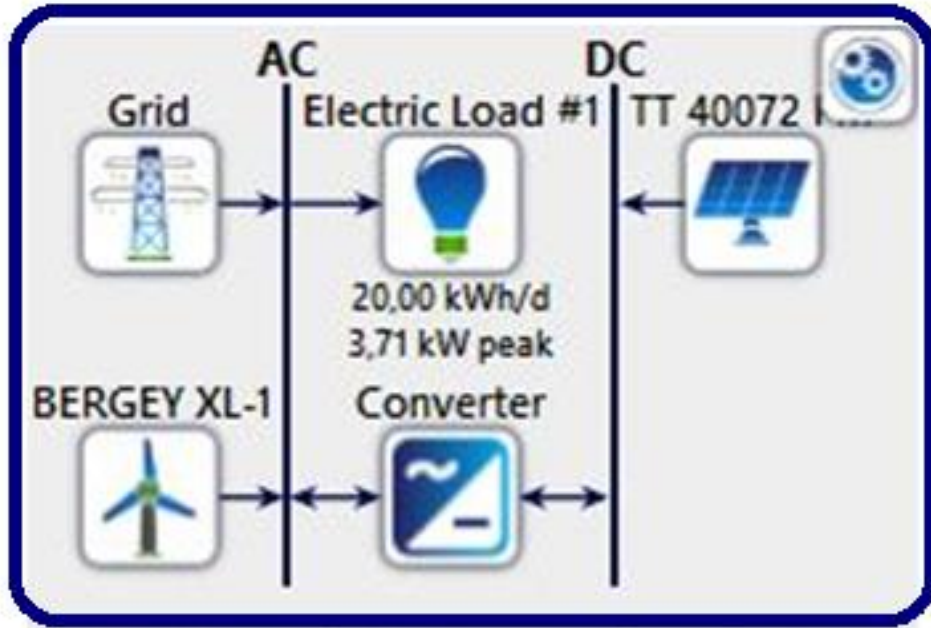
Şebeke bağlantılı hibrit enerji sisteminin 6. senaryosuna göre kurulu güç 20 kW; senaryosunun 10 KW'ını rüzgâr türbinleri ve 10 kW'lık kısmını güneş paneli oluşturmaktadır.

10 kW'lık Bergey XL.1 rüzgâr türbinlerinden 1 adet ve 200W 1,25 m² alana sahip 50 adet TT0072 PM güneş paneli kullanılmıştır. Temmuz ayında rüzgâr türbininden aylık 600,2 kWh, Şubat ayında ise 880.6 kWh enerji üretilmiştir. Güneş panelleri ilk olarak 10'ar şekilde seri bağlanmış sonra 10'arlı paneller birbiriyle paralel şekilde bağlanmıştır.

50 adet TT0072 PM güneş panelleri, birbirleriyle seri bağlanan 10'arlı panel gruplarının tekrar birbirleriyle paralel bağlanacak şekilde tasarlanmıştır.

Bu sayede güneş panellerinde 1 saatte üretilen elektrik;

$P_{top} = 240 \times (5 \times 4) = 4800W$ olup Şekil 6.6'de senaryo şeması ve aylık hibrit enerji üretimi Tablo 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.12. Senaryo_6 Şeması

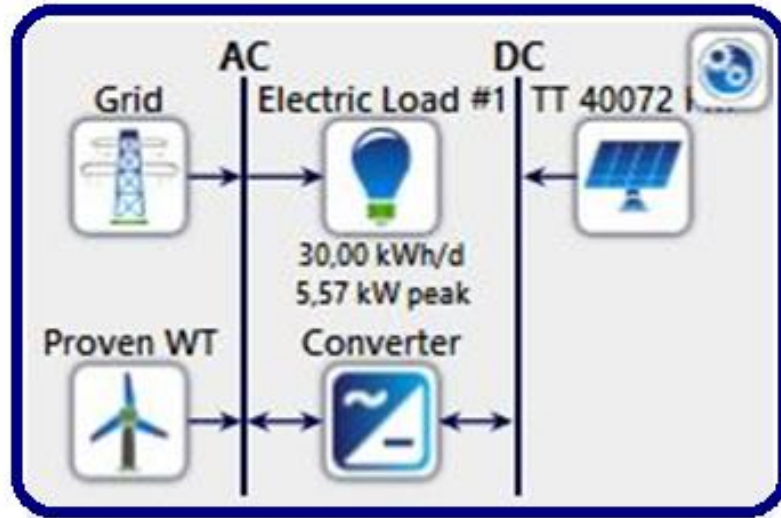
Tablo 6.6. Senaryo_6 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	985,6	735,8	1721,4
Şubat	938,4	890,7	1829,1
Mart	1450,4	755,4	2205,8
Nisan	1540,8	628,7	2169,5
Mayıs	1895,6	445,8	2341,4
Haziran	1940	570,6	2510,6
Temmuz	1975,4	590,4	2565,8
Ağustos	1820,4	510,2	2330,6
Eylül	1600,7	360	1960,7
Ekim	1390,5	545,8	1936,3
Kasım	1050,6	415,6	1466,2
Aralık	895,7	605,8	1501,5
Toplam	17484,1	7054,8	24538,9

Şebeke bağlantılı karma güç sistemlerinden biri olan 7. Senaryosuna göre 30 kW kurulu güce sahiptir. Senaryosunun 10 KW'lık kısmı için Proven WT rüzgâr türbinlerinden 2 adet kullanılmış ve 500 W TT0072 PM güneş panelinden 20 adet kullanılmıştır.

20 adet güneş panelleri TT0072 PM , seri bağlı 5'er panelden oluşan grupların tekrar paralel bağlanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede güneş panellerinde 1 saatte üretilen enerji

$P_{top} = 240 \times (4 \times 4) = 3840W$ olup Şekil 6.13'de senaryo şeması ve aylık hibrit enerji üretimi Tablo 6.7'de gösterilmiştir.



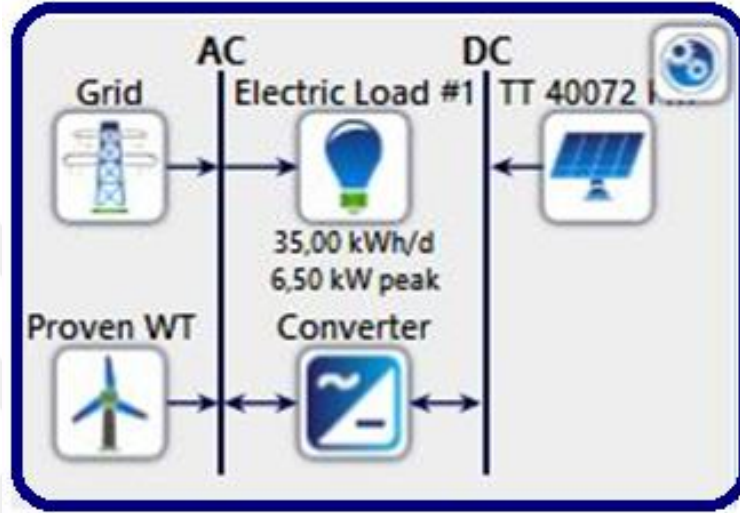
Şekil 6.13. Senaryo_7 Şeması

Tablo 6.7. Senaryo_7 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	985,4	1902,7	2888,1
Şubat	938,2	2280,6	3218,8
Mart	1380,2	1985,6	3365,8
Nisan	1540,8	1650,3	3191,1
Mayıs	1890,2	1175	3065,2
Haziran	1940,6	1510,2	3450,8
Temmuz	1970,7	1580,6	3551,3
Ağustos	1810,2	1345,7	3155,9
Eylül	1590,7	910,5	2501,2
Ekim	1402,3	1420	2822,3
Kasım	1045,8	1089	2134,8
Aralık	895,4	1598,4	2493,8
Toplam	17390,5	18448,6	35839,1

Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden 35 kW kurulu gücündeki 8. senaryoya göre; senaryonun 15 kW'lık kısmını Proven WT rüzgâr türbininden 1 adet kullanılmış , 200 W'lık TT40072 PM güneş panelinden 100 adet kullanılmıştır. Güneş panelleri ilk olarak 10'arlık şekilde seri bağlanmış, sonra seri gruplar birbiriyle paralel olarak bağlanmıştır. Bu şekilde güneş panellerinde 1 saatte üretilen güç;

$P_{top} = 240 \times (10 \times 4A) = 9600 \text{ W}$ olup Şekil 6.14'de senaryo şeması ve aylık hibrit enerji üretimi Tablo 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Senaryo_8 Şeması

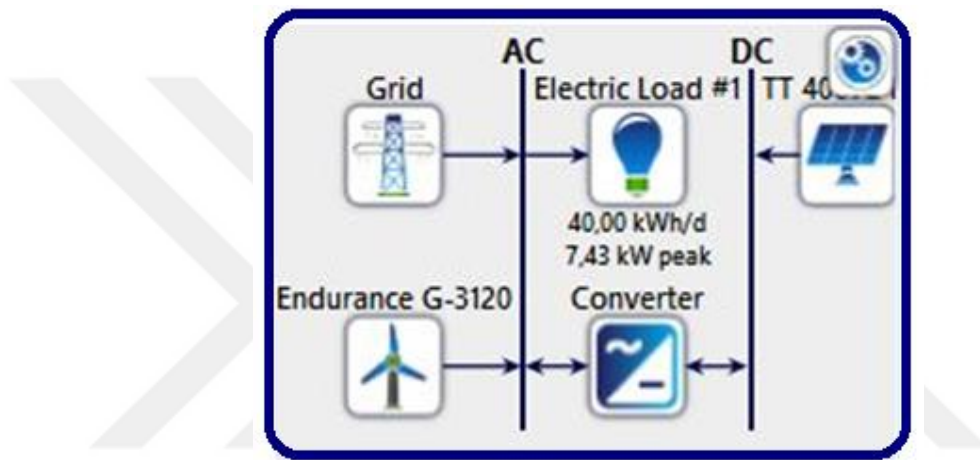
Tablo 6.8. Senaryo_8 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	990,2	1900,4	2890,6
Şubat	940,5	2300	3240,5
Mart	1400,2	1980,5	3380,7
Nisan	1550,3	1600	3150,3
Mayıs	1900,5	1180,2	3080,7
Haziran	1940,6	1520,3	3460,9
Temmuz	1990,7	1583,4	3554,1
Ağustos	1800,5	1349,7	3150,2
Eylül	1590,4	920	2510,4
Ekim	1390,5	1450	2840,5
Kasım	1040,3	1092	2132,3

Aralık	890,4	1590	2480,4
Toplam	17425,1	18466,5	35891,6

Şebekeye bağlı olarak tasarımı yapılan 9. Senaryonun toplam kurulu gücü 40 kW olarak belirlenmiştir. Sistemde 30 kW'lık rüzgar ve 10 kW'lık güneş enerjisi kurulu gücü vardır. Sistemde rüzgâr türbini olarak 10 kW güce sahip Endurance G3120 rüzgâr türbininden 3 adet, 400W kurulu güce sahip TT40072 PM güneş panelinden 25 adet kullanılmıştır. Güneş panelleri ilk olarak 5'erli olarak seri bağlanmış, sonra 5'erli gruplar birbiriyle paralel bağlanmıştır. Bu şekilde güneş panellerinde 1 saatte üretilen güç;

$P_{top} = 240 \times (5 \times 4A) = 4800 \text{ W}$ olup Şekil 6.15'de senaryo şeması ve aylık hibrit enerji üretimi Tablo 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Senaryo_9 Şeması

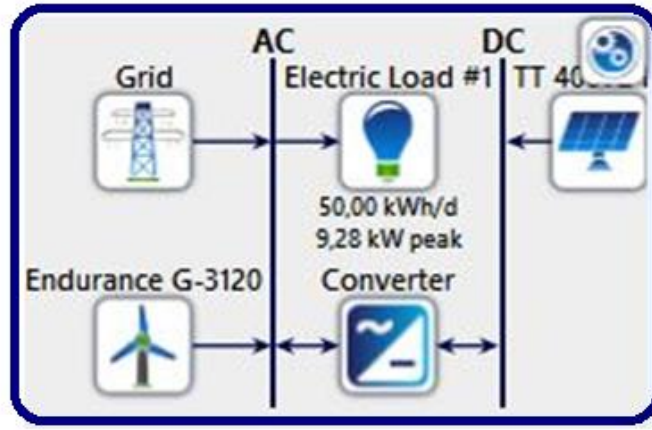
Tablo 6.9. Senaryo_9 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	495,2	7190,5	7685,7
Şubat	468,5	8220,3	8688,8
Mart	692,3	7400	8092,3
Nisan	770,4	6235,4	7005,8
Mayıs	945,7	4655,8	5601,5
Haziran	968,4	5720,9	6689,3
Temmuz	985,7	5998,7	6984,4
Ağustos	905,6	5200,3	6105,9
Eylül	795,8	3869	4664,8
Ekim	700,6	5570	6270,6

Kasım	525,4	457,3	982,7
Aralık	448,7	6295	6743,7
Toplam	8702,3	66813,2	75515,5

Tasarlanan 10.senaryoya göre; Senaryoda kurulu gücün 30 kW'ı rüzgâr türbini, 20 kW'ı kısmını güneş enerji üretim sistemidir. 30 KW 'lık Endurance G-3120 rüzgâr türbini modelinden 1 adet , TT40072 PM 400 W'lık PM güneş panelinden 50 adet ve 2 adet REVO-E PLUS invertör kullanılmıştır. 50 adet TT40072 PM güneş panelleri, ilk olarak 5'erli seri olarak bağlanmış sonra seri bağlanan gruplar paralel şekilde birleştirilmiştir. Böylelikle güneşten 1 saatte üretilen güç;

$P_{top} = 240 \times (10 \times 4A) = 9600 \text{ W}$ 'tır. Senaryo 10 için tasarımı yapılan hibrit sisteme şema görünümü Şekil 6.16'da ve enerji üretim verileri Tablo 6.10'da görüldüğü gibidir.



Şekil 6.16. Senaryo 10 Şeması

Tablo 6.10. Senaryo 10 Aylık Hibrit Enerji Üretimi

Aylar	GES (kWh)	RES (kWh)	Hibrit Enerji (kWh)
Ocak	990,6	7300,6	8291,2
Şubat	945,6	8350,6	9296,2
Mart	1400	7400,5	8800,5
Nisan	1540,4	6300,8	7841,2
Mayıs	1890,6	4785	6675,6
Haziran	1956,4	5875,4	7831,8
Temmuz	1975,8	6000,2	7976
Ağustos	1820,3	5200,6	7020,9
Eylül	1590	3854	5444
Ekim	1400,6	5582,3	6982,9

Kasım	1056,7	4570,1	5626,8
Aralık	950,4	6298,7	7249,1
Toplam	17517,4	71518,8	89036,2

Şebeke bağlantılı sistemlerde de aylık enerji üretim verileri incelendiğinde güneş panelinden üretilen enerji en fazla temmuz ayında, rüzgâr panelinden üretilen enerji ise en fazla Şubat ayındadır.



7. MALİYET HESAPLAMA

Balıkesir İli'nde kurulan senaryolarda, bölgenin gerçek rüzgar ve güneş potansiyeli ölçümleri kullanılmıştır. Bölge için yapılan ölçümlerden hareketle gerçekleştirilecek senaryoların maliyet analizi yapılmıştır. Tasarlanan 10 senaryonun maliyet analizlerine göre en kısa kendi kendini amorti eden senaryo belirlenmiştir. Aynı zamanda, bu bölgede kurulan hibrit sistemin kurulumunun ekonomik olup olmadığını kontrol edilmiştir. Hibrit enerji sisteminin maliyeti analiz edilirken hibrit enerji sisteminin yıllık olarak ürettiği enerji miktarı ve yerleşim yerlerinin kullandığı elektrik enerjisinin birim fiyatı önemlidir. Maliyet analizi yapılırken, hibrit enerji sisteminin bileşenleri, gerekli teknik bilgi dahilinde, en uygun ve verimli fiyat dikkate alınarak seçilmiştir.

Günümüzde enerji sorunu ve ekonomik sebepler yenilenebilir enerjiye olan talebi arttırmaktadır. Ancak potansiyelin belirlenmesi için çalışmalar yapılması, bölgenin yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretmenin uygun olup olmadığının değerlendirilmesi gerekir.

31 Ağustos 2022 tarihinden itibaren geçerli olan TEİAŞ yerleşim yerlerinin elektrik ücreti 5,30 Cent/kWh, ayrıca 1,861 Cent/kWh dağıtım ücreti 0,265 Cent/kWh BTV kısmı, 7,43 Cent/kWh KDV ve KDV matrahı eklendiğinde 0,594 Cent/kWh, elektrik tüketim birim fiyatı ise 8,03 Cent/kWh'dir. Sistem bileşenleri Euro, Dolar, Madeni Para ve Pound cinsinden fiyatlandırılır. 30 Ağustos 2022'de Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'ndan alınan verilere göre dolar 18.20 TL, euro 18.19 TL ve sterlin 21.21 TL. Tablo 7.1 ve Tablo 7.2'de karma sistem senaryolarına ait rüzgar türbini ve güneş paneli modelleri verilmiş olup, kurulu güç, birim fiyat ve toplam maliyet hesaplanmıştır.

Tablo 7.1. Senaryodaki kullanımına göre rüzgar türbin maliyetleri

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Rüzgâr Türbin Modeli	Adet	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
1	7000	Whisper-500	1	\$1.019,00	\$1.019,00
2	8000	Whisper-500	2	\$1.019,00	\$2.038,00
3	9000	Iskra AT5-1	1	\$1.433,00	\$1.433,00
4	10.000	Iskra AT5-1	1	\$1.433,00	\$1.433,00
5	15.000	Bergey XL.1	2	\$2.500,00	\$5.000,00
6	20.000	Bergey XL.1	1	\$2.500,00	\$2.500,00
7	30.000	Proven WT	2	\$3.333,00	\$6.666,00
8	35.000	Proven WT	1	\$3.333,00	\$3.333,00
9	40.000	Endurance G-3120	3	\$5.555,00	\$16.666,00
10	50.000	Endurance G-3120	1	\$5.555,00	\$5.555,00

Tablo 7.2. Senaryodaki kullanımına göre güneş paneli maliyetleri

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Güneş Paneli Modeli	Adet	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
1	7000	TT40072 PM	20	\$216,67	\$4.333,40
2	8000	TT40072 PM	16	\$216,67	\$3.466,72
3	9000	TT40072 PM	30	\$216,67	\$6.500,10
4	10.000	TT40072 PM	50	\$216,67	\$10.833,50
5	15.000	TT40072 PM	40	\$216,67	\$8.666,80
6	20.000	TT40072 PM	50	\$216,67	\$10.833,50
7	30.000	TT40072 PM	20	\$216,67	\$4.333,40
8	35.000	TT40072 PM	100	\$216,67	\$21.667,00
9	40.000	TT40072 PM	25	\$216,67	\$5.416,75
10	50.000	TT40072 PM	50	\$216,67	\$10.833,50

Tablo 7.3. Senaryodaki kullanımına göre şarj regülatörü maliyetleri

Şarj Regülatörü				
Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Model	Adet	Toplam Maliyet
1	7000	Ista Breeze	1	\$119,17
2	8000	Ista Breeze	1	\$119,17
3	9000	Ista Breeze	1	\$119,17
4	10.000	Ista Breeze	1	\$119,17
5	15.000	Ista Breeze	1	\$119,17

Akümülatör seçiminde akümülatörün modeli Tablo 7.4'te gösterilmiş olup, kullanılacak miktar, kapasite, boyut, bağlantı tipi ve toplam sistem kapasitesi kurulu güç, çalışma gerilimi sistem dinamikleri ve her bir durum için birim fiyat kullanılmıştır. Senaryodaki verilere göre sistemin toplam elektrik kapasitesini karşılayacak farklı kapasitede Mutlu tam güç akümülatör, farklı miktar ve farklı bağlantı tipinde (seri/paralel) kullanılmıştır.

Tablo 7.4. Senaryodaki kullanımına göre akümülatör maliyetleri

Akümülatör					
Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Model	Adet	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
1	7000	Mutlu Efb Akü	7	\$46,39	\$324,72
2	8000	Mutlu Efb Akü	5	\$46,39	\$231,94
3	9000	Mutlu Efb Akü	5	\$46,39	\$231,94
4	10.000	Mutlu Efb Akü	6	\$46,39	\$278,33
5	15.000	Mutlu Efb Akü	8	\$46,39	\$371,10

Hibrit güç sisteminin rüzgâr ve güneş enerjisi çıkışı ve sistem gerilimi, seçilen senaryolar kapsamında test edilen invertörün modeli, birim maliyeti ve toplam maliyet Tablo 7.5’ de verilmiştir.

Tablo 7.5. Senaryodaki kullanımına göre invertör maliyetleri

İnvertör					
Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Model	Adet	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
1	7000	Lexron KS5000	2	\$408,88	\$817,76
2	8000	Lexron KS5001	2	\$408,88	\$817,76
3	9000	Lexron KS5002	2	\$408,88	\$817,76
4	10000	Lexron KS5003	2	\$408,88	\$817,76
5	15000	Lexron KS5004	2	\$408,88	\$817,76
6	20000	Lexron KS5005	2	\$408,88	\$817,76
7	30000	Lexron KS5006	2	\$408,88	\$817,76
8	35000	Lexron KS5007	2	\$408,88	\$817,76
9	40000	Lexron KS5008	3	\$408,88	\$1.226,64
10	50000	Lexron KS5009	3	\$408,88	\$1.226,64

Tablo 7.6’da tasarımı yapılan senaryolardaki bileşenler ve bileşen birim fiyatları verilmiştir. Tablo 7.7’de ise her bir senaryo kullanılan bileşenlere göre maliyet hesabı yapılmıştır.

Tablo 7.6. Senaryolara göre hibrit sistem bileşenlerinin birim fiyatları

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Rüzgâr Türbini	Güneş Paneli	Şarj Regülatörü	İnvertör	Güneş Paneli Sehпасı	Akümülatör
1	7000	\$1.019,00	\$216,67	\$119,17	\$408,88	\$132,05	\$180,32
2	8000	\$1.019,00	\$216,67	\$119,17	\$408,88	\$132,05	\$180,32
3	9000	\$1.433,00	\$216,67	\$119,17	\$408,88	\$132,05	\$180,32
4	10.000	\$1.433,00	\$216,67	\$119,17	\$408,88	\$132,05	\$180,32
5	15.000	\$2.500,00	\$216,67	\$119,17	\$408,88	\$132,05	\$180,32
6	20.000	\$2.500,00	\$216,67	-	\$408,88	\$132,05	\$180,32
7	30.000	\$3.333,00	\$216,67	-	\$408,88	\$132,05	\$180,32
8	35.000	\$3.333,00	\$216,67	-	\$408,88	\$132,05	\$180,32
9	40.000	\$5.555,00	\$216,67	-	\$408,88	\$132,05	\$180,32
10	50.000	\$5.555,00	\$216,67	-	\$408,88	\$132,05	\$180,32

Tablo 7.7’de Her bir hibrit enerji senaryosunun toplam maliyeti

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Rüzgâr Türbini	Güneş Paneli	Şarj Reg.	İnvertör	Akü	Panel Sehпасı	Toplam Maliyet
1	7000	\$1.019,00	\$4.333,40	\$119,17	\$817,76	\$32,472	\$132,05	\$6.482,53
2	8000	\$1.019,00	\$4.333,40	\$119,17	\$817,76	\$32,472	\$132,05	\$6.482,53
3	9000	\$1.019,00	\$4.333,40	\$119,17	\$817,76	\$32,472	\$132,05	\$6.482,53
4	10000	\$1.019,00	\$4.333,40	\$119,17	\$817,76	\$32,472	\$132,05	\$6.482,53
5	15000	\$1.019,00	\$4.333,40	\$119,17	\$817,76	\$32,472	\$132,05	\$6.482,53

			\$4.333,4					\$180	
6	20000	\$1.019,00	0	-	\$817,76	-	\$132,05	,32	\$6.482,53
			\$4.333,4					\$180	
7	30000	\$1.019,00	0	-	\$817,76	-	\$132,05	,32	\$6.482,53
			\$4.333,4					\$180	
8	35000	\$1.019,00	0	-	\$817,76	-	\$132,05	,32	\$6.482,53
			\$4.333,4					\$180	
9	40000	\$1.019,00	0	-	\$817,76	-	\$132,05	,32	\$6.482,53
			\$4.333,4					\$180	
10	50000	\$1.019,00	0	-	\$817,76	-	\$132,05	,32	\$6.482,53

Tablo 7.8 Hibrit enerji senaryolarına ait birim enerji fiyatları.

Senaryo No	Kurulu Güç(W)	Cent/ kWh
1	7000	56,388
2	8000	64,444
3	9000	72,5
4	10000	80,55
5	15000	120,83
6	20000	161,11
7	30000	241,66
8	35000	281,94
9	40000	322,22
10	50000	402,77

Tablo 7.9 Hibrit enerji senaryolarına ait aylık ve yıllık amortisman tutarları.

Senaryo No	Kurulu Güç (W)	Aylık Amortisman Tutarı Cent/ kWh	Yıllık Amortisman Tutarı Cent/ kWh
1	7000	0,38	4,72
2	8000	0,44	5,38
3	9000	0,15	6,05
4	10000	0,55	6,72
5	15000	0,83	10,05
6	20000	1,11	13,44
7	30000	1,66	20,11
8	35000	0,514	23,5

9	40000	0,22	26,83
10	50000	2,77	33,55

Şebeke birim fiyatı, Enerji Piyasası Kurumu'nun sayılı Yönetim Kurulu'nun 995 sayılı kararı ile açıklanan 1 Ocak 2021 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tarifesinden alınmıştır. Elektrik tek tüketici olarak tanımlanmaktadır. Nihai tarifenin dağıtım yönüne göre üreticiler için birim dağıtım tarifesinin reaktif enerji fiyatından dağıtım fiyatının çıkarılmasıyla şebekeye satılan elektrik enerjisinin birim fiyatı belirlenir (Kayıkcı, 2020). Şebeke bağlantılı hibrit sistemde şebekeden alınan elektriğin enerji birim fiyatı 3,38 Cent /kWh; şebekesine satılan enerjinin birim fiyatı 1,833 Cent /kWh'dir.

Birim enerji fiyatları cent olarak incelendiğinde senaryo 1 (7000 W) senaryo 2 (8000 W) için en uygun ve verimli sonuç alınacağı yapılan incelemeler ve hesaplamalar sonucunda görülmüştür. Amortisman tutarları da cent cinsinden hesaplandığında en uygun senaryo 3 (9000W) ve senaryo 9 (40W) için amortisman süreleri ve tutarı daha uygundur. Ayrıca TEİAŞ meskenler için elektrik ücreti 5.30 Cent / kWh olduğundan hesaplamalar yapılırken bu değer göz önüne alınmıştır. Oluşturulan hibrit sistemler için yapılan ekonomik maliyet analizinde yıllık enflasyon oranı %36,08 (TÜİK, 2022), nominal faiz oranı %14 (TCMB, 2022) olarak alınmıştır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kurulu güç kapasiteleri 7-50 kW arasında değişen 10 adet hibrit (karma) enerji sistemi senaryosu tasarlanmıştır. Sistem tasarımlarında dengeli olarak güneş paneli ve rüzgâr türbini sayısı belirlenmiştir. Çalışmalarda şebekeden bağımsız 7-15 KW arası 5 senaryo kurulu güce ve üretilen enerjiye bağlı olarak akümülatör ile üretilen enerjiyi depolamak için şarj regülatörü kullanılmaktadır. Sistem olarak ve hepsinden önemlisi akümülatörün regülatörü olarak, doğru akımı alternatif akıma çevirerek üretilen enerjiyi kullanabilmesini sağlamaktadır. 20 KW' dan 50 KW'a kadar 5 adet karma enerji sistemi şebekeye bağlı olduğundan akümülatör kullanılmadığından bu nedenle şarj regülatörüne ihtiyaç duyulmaz. Güneş panelinden üretilen AC akımı DC'ye çevirmek için dönüştürücü kullanılır. İnvertörler sistemin akım ve gerilim değerlerine uygun şekilde seçilir. Ancak bu sistemlerde güneş paneli tarafından üretilen DC akımı AC akıma dönüştürmek için sistem voltajı ve akımına uygun dönüştürücüler kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde kullanılan rüzgâr türbinleri ise yapılarında invertör bulunduğundan başka bileşenler kullanılmadan doğrudan şebekeye bağlanabilir. Rüzgâr türbininden üretilen enerji hesaplanırken; Balıkesir'in Ayvalık ilçesinde rüzgâr hızı ölçümleri kullanılmıştır. Hibrit enerji değerlerini hesaplarken özellikle sistem bileşenlerinin sisteme uygun şekilde seçilmesi verimliliği doğrudan etkilemektedir. Hibrit enerji sisteminin kurulu gücü arttıkça üretilen enerjinin de arttığı gözlemlenmiştir. Senaryolar incelendiğinde, yapılan değerlendirmeler sonucunda en yüksek güneş kapasitesinin temmuz ayında, en düşük rüzgâr kapasitesinin ise şubat ayında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bunun en önemli nedeni ise yazın güneşin daha parlak ve çok olması, kışın ise rüzgârın daha çok olmasıdır. Kurulacak olan hibrit enerji sistemlerinde verimliliği arttırabilmek için bu faktöre dikkat edilmelidir.

Çevre ile uyumlu kaynakların yüksek verimlilikle kullanılması ülkelerin ekonomileri ve gelişmişlikleri açısından oldukça önemlidir. Gelişmiş ülkelere de görüldüğü üzere enerji konusunda dışa bağımlı olmayan ülkeler ekonomik refah seviyesini yakalamıştır. Bu konularda önemli yatırımlar yapılmaktadır. Türkiye'de coğrafi konumu itibari ile güneş ve rüzgâr enerjisi bakımından yüksek potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin yeterli değerlendirilebilmesi için bu konuda yatırımlar arttırılmalı Ar-Ge çalışmaları arttırılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ashok, S. (2007). Optimised model for community-based hybrid energy system. *Renewable Energy*, 32(7), 1155–1164.
- Balıkesir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (). Erişim: <https://balikesir.ktb.gov.tr/TR-65836/fiziki-ozellikler.html> (2 Mart 2022)
- Batmanda Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini. (). Erişim: <https://www.enerjimgunesten.com/batmanda-dikey-eksenli-ruzgar-turbini.html/amp> (1 Kasım 2022).
- Bergey BWC Excel 10 kW Wind Turbine. Erişim: <http://www.bergey.com/Products/Excel.Spec.Frt.pdf> (7 Ağustos 2021).
- Celik, A. N. (2003). Techno-economic analysis of autonomous PV-wind hybrid energy systems using different sizing methods. *Energy Conversion and Management*, 44(12), 1951–1968.
- Cotek İnvertörlerin Teknik Özellikleri ve Birim Fiyatları. (). Erişim: <http://www.thepowerstore.com/manufacture.asp?man=5> (6 Ekim 2021)
- Demirtaş, M. (2008). *Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santral tasarımı ve uygulaması*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Diaf, S., Notton, G., Belhamel, M., Haddadi, M., & Louche, A. (2008). Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions. *Applied Energy*, 85(10), 968–987.
- Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini. (). Erişim: <https://www.gezegensolar.com/blog/icerik/dikey-eksenli-ruzgar-turbini> (1 Ekim 2022).
- Dong, W., Li, Y., & Xiang, J. (2016). Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system based on battery/hydrogen with an improved ant colony optimization. *Energies*, 9(10), 785.
- Dünya Enerji Konseyi Türkiye 2021 Küresel Enerji Raporu. Erişim: <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/2021-Kuresel-Enerji-Raporu-Ozeti.pdf> (13 Ocak 2022).
- EİEİ (Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü), Güneş Enerji Potansiyel Atlası. Erişim: <http://repa.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/43.aspx> 124 (16 Haziran 2021).
- Elektrik Piyasası Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM). (2021). *YEKDEM*. Erişim: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-122/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-destekleme-mekanizmasi-yekdem> (29 Kasım 2021)
- Elhadidy, M. A. (2002). Performance evaluation of hybrid (wind/solar/diesel) power systems. *Renewable Energy*, 26(3), 401–413.
- Elhadidy, M., & Shaahid, S. (1999). Feasibility of hybrid (wind+ solar) power systems for Dhahran, Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 16(1-4), 970–976.
- Endurance G-3120 Wind Turbine Specificaiton. (). Erişim: <http://www.endurancewindpower.com/g3120.html> (6 Haziran 2021).

- Enerji Sektör Görünümü (TSKB). (). Erişim: <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf> (2 Ocak 2022).
- Engin, M. (2002). *Fotovoltaik rüzgâr hibrit enerji sisteminin izmir koşullarında tasarımı ve denenmesi* (Doktora Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- EPDK, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2021). *EPDK*. Erişim: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-122/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-destekleme-mekanizmasi-yekdem> (11 Ocak 2022).
- Fetanat, A., & Khorasaninejad, E. (2015). Size optimization for hybrid photovoltaic–wind energy system using ant colony optimization for continuous domains based integer programming. *Applied Soft Computing*, 31, 196–209.
- Güneş paneli invertörü. (). Erişim: <https://www.solarrelax.com/gunes-paneli-invertoru-nedir>
- Güneş-hidrojen hibrit sistem. (). Erişim: <https://www.bilgiustam.com/gunes-hidrojen-sistemi-2/> (2 Aralık 2021).
- Iskra AT5-1 Measured Power Curve –Summary. (). Erişim: <http://www.energygridsolutions.com/pdf/iskra%20power%20curve.pdf> (7 Temmuz 2021).
- Ismail, M. S., Moghavvemi, M., & Mahlia, T. (2014). Genetic algorithm based optimization on modeling and design of hybrid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management*, 85, 120–130.
- Köse, G. (2010). *Hibrit (Güneş + Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kutahya Orneği*. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Kusakana, K., Vermaak, H., & Yuma, G. (2013). Optimization of hybrid standalone renewable energy systems by linear programming. *Advanced Science Letters*, 19(8), 2501–2504.
- Lujano-Rojas, J. M., Monteiro, C., Dufo-López, R., & Bernal-Agustín, J. L. (2012). Optimum load management strategy for wind/diesel/battery hybrid power systems. *Renewable Energy*, 44, 288–295. doi:10.1016/j.renene.2012.01.097
- Malkoç, Y. (). EİE İdaresi Genel Müdürlüğü, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Enerji Profilimizdeki Yeri. Erişim: <http://docplayer.biz.tr/2475413-Turkiye-ruzgar-enerjisi-potansiyeli-ve-enerji-profilimizdeki-yeri.html> (10 Kasım 2021)
- Marano, V., Rizzo, G., & Tiano, F. A. (2012). Application of dynamic programming to the optimal management of a hybrid power plant with wind turbines, photovoltaic panels and compressed air energy storage. *Applied Energy*, 97, 849–859.
- Mutlu Akü - Mini Trak- Full Enerji Akülerinin teknik özellikleri. (). Erişim: http://www.mutlu.com.tr/common/file/mutlu_minitrak.pdf (13 Haziran 2021).
- Nelson, D., Nehrir, M., & Wang, C. (2006). Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems. *Renewable Energy*, 31(10), 1641–1656.
- Norm Enerji Sistemleri Ltd, Krocera Güneş Pilleri, KC200GTH-2 Güneş Paneli Katoloğu. (). Erişim: http://www.normenerji.com.tr/Kyocera_pdf/KC200GHT-2_solar_panel.pdf (12 Haziran 2021).
- Ozdamar, A., Ozbalta, N., Akin, A., & Yildirim, E. D. (2005). An application of a combined wind and solar energy system in Izmir. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(6), 624–637.

- Powerstar W7 İnvörtörün Teknik Özellikleri Ve Birim Fiyatı. (). Erişim: <http://rgjinternational.com/solar/powerinvertersit.html?email=+++++Enter+Address+Here> (6 Nisan 2021).
- Proven WT 15000 15 kW Wind Turbine. (). Erişim: <http://www.naturalgen.co.uk/pdfs/Tech%20specs%2015kW.pdf> (15 Haziran 2021).
- PVSOL, The design and simulation software for photovoltaic systems. (). Erişim: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/> (5 Temmuz 2021).
- REVOE PLUS 35 inverter teknik özellikler. (). Erişim: http://www.chinasuoer.com/hybrid-inverter/VMS-5KW-hybrid-inverter.html?gclid=EAIaIQobChMIuMPsmN7MQIVNI9oCR10DgqrEAAYAiAAEgILGPD_BwE (2 Ekim 2021).
- Sangeetha, P., & Suja, S. (2017a). Modeling and heuristic based optimal sizing of PV wind system (pp. 359–363). Presented at the 2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT), IEEE.
- Sangeetha, P., & Suja, S. (2017b). Modeling and heuristic based optimal sizing of PV wind system (pp. 359–363). Presented at the 2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT), IEEE.
- Sasidhar, K., & Kumar, B. J. (2015). Optimal sizing of PV-Wind Hybrid energy system using Genetic Algorithm (GA) and Particle swarm optimization (PSO). *International Journal of Science, Engineering, and Technology Research (IJSETR)*, 4(2).
- Singh, S. S., & Fernandez, E. (2018). Modeling, size optimization and sensitivity analysis of a remote hybrid renewable energy system. *Energy*, 143, 719–731.
- Solar Led, Poli Kristal Paneller. Erişim: http://www.solarledtech.com/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=107&lang=tr (6 Aralık 2021).
- TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi), (). *TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi)*,. Erişim: <http://www.teias.gov.tr/istatistik2008/index.htm> (2 Kasım 2021).
- TeknoRay solar, Güneş paneli. (). Erişim: <https://www.teknoraysolar.com.tr/dunyada-ve-turkiyede-gunes-enerjisinin-onemi/> (5 Ekim 2021).
- Tommatech 400 Watt 72 Percmono Güneş Paneli. (). Erişim: <https://gunestenenerji.com/product/tt-400wp-72-hucureli-percmono-gunes-paneli-26.html> (16 Aralık 2021).
- Tristar Şarj Regülatörünün Teknik Özellikleri. (). Erişim: <http://www.btekenenergy.com/documents/Tristar.pdf> (6 Ekim 2021).
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), Erişim: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?tb_id=39&ust_id=11 (10 Ekim 2021).
- Türkay, B. E., & Telli, A. Y. (2011). Economic analysis of standalone and grid connected hybrid energy systems. *Renewable Energy*, 36(7), 1931–1943. doi:10.1016/j.renene.2010.12.007
- Üç fazlı Kare Dalga İnverter. (). Erişim: <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/murat.sen/132688/DERS%2014.pdf> (2 Kasım 2021).
- Whisper 500, Tecnicl Spesification. (). Erişim: http://www.realgoods.com/text/pdf/whisper_spec.pdf (10 Temmuz 2021).

- Wies, R. W., Johnson, R. A., Agrawal, A. N., & Chubb, T. J. (2005). Simulink model for economic analysis and environmental impacts of a PV with diesel-battery system for remote villages. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(2), 692–700.
- Wind Turbine, WS-400 Wind Turbine. (). Erişim: <http://www.duxlite.com/windturbine.html> (9 Ekim 2021).
- Worlddata, Energy consumption. (). Erişim: https://ourworldindata.org/explorers/energy?facet=none&country=USA~GBR~CHN~OWID_WRL~IND~BRA~ZAF&Total+or+Breakdown=Total&Energy+or+Electricity=Primary+energy&Metric=Annual+consumption (2 Ocak 2022).
- Yatay Eksenli Rüzgâr türbini. (). Erişim: <https://www.elektrikde.com/yatay-eksenli-ruzgar-turbini-nedir-cesitleri-ve-avantajlari-nelerdir/> (6 Ekim 2021).
- Zhang, W., Maleki, A., Rosen, M. A., & Liu, J. (2018). Optimization with a simulated annealing algorithm of a hybrid system for renewable energy including battery and hydrogen storage. *Energy*, 163, 191–207.

EK 1. EPDK tarafından onaylanan ve 1 Nisan 2022 Tarihinden itibaren uygulanacak faaliyet bazlı tarifeler.

EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Nisan 2022 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler										
1/4/2022		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
		Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
İletim Sistemi	Tüketici	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
		195,4965	197,9034	312,9770	105,0276	0,0000	195,4965	197,9034	312,9770	105,0276
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Sanayi	202,1130	204,6035	323,6222	108,5434	16,3448	218,4578	220,9483	339,9670	124,8882
	Ticarethane	182,5837	184,4062	288,7941	101,3485	28,7660	211,3497	213,1722	317,5601	130,1145
	Mesken	130,9038	133,0713	212,0088	69,9448	28,2039	159,1077	161,2752	240,2127	98,1487
	Tarimsal Sulama	135,9633	137,3665	217,4653	73,3592	23,6477	159,6110	161,0142	241,1130	97,0069
	Aydınlatma	168,1114				27,6100	195,7214			
		202,1130	204,6035	323,6222	108,5434	16,3448	218,4578	220,9483	339,9670	124,8882
		182,5837	184,4062	288,7941	101,3485	28,7660	211,3497	213,1722	317,5601	130,1145
		130,9038	133,0713	212,0088	69,9448	28,2039	159,1077	161,2752	240,2127	98,1487
		135,9633	137,3665	217,4653	73,3592	23,6477	159,6110	161,0142	241,1130	97,0069
		168,1114				27,6100	195,7214			
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Sanayi	204,8204	207,1843	320,2166	115,9563	25,2888	230,1092	232,4731	345,5054	141,2451
	Ticarethane (30 kWh/gün ve altı)	133,1871	190,2848	294,6726	107,2275	34,2716	167,4587	224,5564	328,9442	141,4991
	Ticarethane (30 kWh/gün üstü)	188,4627	190,2848	294,6726	107,2275	34,2716	222,7343	224,5564	328,9442	141,4991
	Mesken (8 kWh/gün ve altı)	78,9190	136,5075	215,4457	73,3809	33,5187	112,4377	170,0262	248,9644	106,8996
	Mesken (8 kWh/gün üstü)	134,3397	136,5075	215,4457	73,3809	33,5187	167,8584	170,0262	248,9644	106,8996
	Şenlik Alanları ve Muntazıp Alanları	30,8956				22,7335	53,6291			
	Tarimsal Sulama	139,4434	143,1182	220,9458	76,8394	28,1603	167,6037	171,2785	249,1061	104,9997
	Aydınlatma	173,6784				32,8247	206,5031			
	Genel Aydınlatma	204,7600				32,8247	237,5847			
		204,8204	207,1843	320,2166	115,9563	25,2888	230,1092	232,4731	345,5054	141,2451

