KONUT KULLANIMINDA HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN KURULUMUNUN VE MALİYETİNİN İNCELENMESİ

Sümeyye ADALI

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONUT KULLANIMINDA HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN KURULUMUNUN VE MALİYETİNİN İNCELENMESİ

Sümeyye ADALI
0000-0002-5077-7358

Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KONUT KULLANIMINDA HİBRİT ENERJİ SİSTEMİNİN KURULUMUNUN VE MALİYETİNİN İNCELENMESİ

Sümeyye ADALI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ

Günümüzde nüfus ve ülkelerin gelişmişlik düzeyiyle paralel olarak artış gösteren enerji talebinin yoğun olarak çevresel ve ekonomik etkileri yüksek olan geleneksel enerji kaynakları olan fosil yakıtlara bağımlı olması, ülkelerin enerji bağımlılığını azaltma noktasında yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Dünya üzerinde sınırlı miktarda ve eşit ulaşım imkanı barındırmayan fosil kaynaklar yerine, yerel ve temiz enerji üretiminin gerçekleşmesini sağlayan yenilenebilir kaynaklardan yakın gelecekte birçok alanda yararlanma oranının daha fazla artacağı öngörülmektedir. Küresel elektrik tüketiminin büyük bir bölümünden sorumlu olan konutların elektrik enerjisi ihtiyacının yüksek enerji potansiyeli barındıran güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan karşılanması hem fosil yakıt tüketiminin azaltımı hem de enerjinin verimli kullanılması noktasında önemli faydalar barındırmaktadır.

Bu çalışmada Bursa ili Yıldırım ilçesinde yer alan bir konutun elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması amacıyla şebekeden bağımsız PV+ batarya ve şebekeye bağlı PV sistemlerden oluşan güneşe dayalı hibrit enerji sistemlerinin HOMER Pro programı kullanılarak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, şebekeden bağımsız sistemin toplam net bugünkü maliyeti 71386,04 TL, işletme maliyeti 85,06 TL, kWsa başına elektrik birim maliyeti 0,094 TL; şebekeye bağlı sistemin toplam net bugünkü maliyet değeri 13357,51 TL, işletme maliyeti -26,88 TL, kWsa başına birim enerji maliyeti 0,0075 TL olarak hesaplanmıştır. Şebekeye bağlı sistemin konut kullanımında enerji maliyetlerinin düşürülmesi noktasında büyük avantajlar barındırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, PV teknolojisi, konut, Bursa
2022, vii + 45 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF INSTALLATION AND COST OF HYBRID ENERGY SYSTEM IN RESIDENTIAL USE

Sümeyye ADALI

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ

Today, the increasing dependence on fossil fuels, which are traditional energy sources with high environmental and economic effects, in the energy demand increasing in parallel with the development level of the population and countries, leads countries to renewable energy sources in order to reduce their energy dependence. It is predicted that the rate of utilization in many areas will increase in the near future from renewable resources, which provide local and clean energy production, instead of fossil resources that do not have limited and equal transportation opportunities in the world. Providing the electrical energy needs of residences, which is responsible for a large part of global electricity consumption, from renewable sources such as solar energy, which has high energy potential, has important benefits both in terms of reducing fossil fuel consumption and using energy efficiently.

In this study, solar-based hybrid energy systems consisting of off-grid PV+ battery and grid-connected photovoltaic (PV) systems were designed using the HOMER Pro program in order to meet the electrical energy needs of a residence located in Yıldırım district of Bursa. As a result of the analyzes made, the total net present cost of the off-grid system is 71386,04 TL, the operating cost is 85,06 TL, the electricity unit cost per kWh is 0,094 TL; The total net present cost value of the system connected to the grid has been calculated as 13357,51 TL, operating cost -26,88 TL, and unit energy cost per kWh 0,0075 TL. It has been determined that the grid-connected system has great advantages in reducing energy costs in residential use.

Key words: Renewable energy resources, solar energy, PV technology, residential, Bursa
2022, vii + 45 pages.

TEŞEKKÜR

Hayatımın kırılma anı diyerek nitelendirdiğim bir zamanda bana samimiyet ve güvenle yaklaşarak beni her alanda cesaretlendiren sevgili danışmanım Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ'a hayatımda var olduğu ve eğitim hayatım boyunca gösterdiği özveriden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Dünyanın adaletsiz ve acımasızlığına rağmen onlarla birlikteyken hissettiğim huzur ve güvenle iyi ki buradayım ve sizinleyim diyerek şükrettiğim sevgili annem, babam, kardeşlerim ve tezime olan katkılarından dolayı büyük halam Munise Özsipahi'ye bana gösterdikleri sevgi, hoşgörü ve destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Sümeyye ADALI
24/01/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
1. GİRİŞ..... 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 5
2.1.1. Güneş Enerjisi 6
2.1.2. Rüzgar Enerjisi 10
2.1.3. Biyokütle Enerjisi 13
2.1.4. Jeotermal Enerji 15
2.1.5. Dalga Enerjisi 17
2.1.6. Hidroelektrik Enerji 18
3. MATERYAL ve YÖNTEM 24
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 26
5. SONUÇ 36
KAYNAKLAR 37
ÖZGEÇMİŞ 45

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$	Dolar (US)
GW	Gigawatt
GWsa	Gigawatt saat
d	Gün
H_2S	Hidrojen sülfür
CO_2	Karbon dioksit
km^2	Kilometrekare
kW	Kilowatt
kWsa	Kilowatt saat
MW	Megawatt
MWe	Megawatt elektrik
MWt	Megawatt ısı
MWsa	Megawatt saat
m	Metre
m^2	Metrekare
mm	Milimetre
N_2O	Nitröz oksit
s	Saniye
°	Santigrat
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
SO_2	Sülfür dioksit
TWsa	Terawatt saat
W	Watt
yr	Yıl

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
BEPA	Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IRENA	International Renewable Energy Agency (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı)
Li- ion	Lityum İyon
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
YEK	Yenilenebilir Enerji Kanunu
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. PV panellerden enerji üretimi…….. 7
Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası ……. 9
Şekil 2.3. Yıllara göre güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü…..……... 10
Şekil 2.4. Türkiye rüzgar güç yoğunluğu haritası (50 m) ……. 12
Şekil 2.5. Yıllara göre Türkiye rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü……13
Şekil 2.6. Yıllara göre biyokütle enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü…… 15
Şekil 2.7. Jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası …… 16
Şekil 2.8. Yıllara göre jeotermal enerji elektrik kurulu gücü……..…... 17
Şekil 3.1. Bursa iline ait güneş enerjisi potansiyeli atlası…..……... 24
Şekil 4.1. Konut için oluşturulan hibrit sistem tasarımları……. 28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ait avantajlar ve dezavantajlar…… 5
Çizelge 2.2. Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri ve enerji üretim süreci……. 18
Çizelge 2.3. Türkiye'nin 2021 yılı sonu itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ait santral adetleri ve kurulu güç miktarları……. 19
Çizelge 4.1. Bu çalışma kapsamında incelenen konutun 2021 yılı elektrik tüketim değerleri……. 26
Çizelge 4.2. Çalışma bölgesine ait açıklık indeksi ortalama günlük radyasyon ve rüzgar hızı değerleri…….……. 27
Çizelge 4.3. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemine ait maliyet değerleri……..… 28
Çizelge 4.4. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi PV güç çıkışı değerleri……. 29
Çizelge 4.5. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi elektrik üretim değerleri…..…. 29
Çizelge 4.6. Hibrit enerji sisteminde yer alan Li-ion bataryaya ait sayısal değerler..... 30
Çizelge 4.7. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminde emisyon değerleri……... 30
Çizelge 4.8. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemine ait maliyet değerleri……..……. 31
Çizelge 4.9. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi PV güç çıkışı değerleri……..…… 31
Çizelge 4.10. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemine ait elektrik üretim değerleri……. 32
Çizelge 4.11. Şebekeden aylık enerji alım-satım değerleri…… 32
Çizelge 4.12. Şebekeye bağlı sistemde üretilen emisyon değerleri…….……... 33
Çizelge 4.13. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemin maliyet karşılaştırması 33

1. GİRİŞ

Yaşam için vazgeçilmez bir unsur olan enerji, ülkelerin gelişmişlik düzeyinin belirlenmesinde önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Teknolojik gelişmeler ve hızlı nüfus artışı ile beraber artan enerji ihtiyacının karşılanması noktasında sanayi devriminden beri dünya genelinde yoğun olarak kullanılan petrol ve kömür gibi fosil yakıtların günümüzde azalan rezervi, çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturduğu zararların büyük boyutlara ulaşması bu yakıtlara alternatif olabilecek çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır (Adıyaman, 2012). Ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınması, toplumsal refah ve sağlık koşullarının iyileştirilmesi bakımından yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir rol oynamaktadır (Karamıklı ve Şaşmaz, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynakları doğada var olan ve yenilenerek sürekliliği sağlanan temiz enerji kaynaklarıdır (Ergün, 2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarını diğer kaynaklardan farklı kılan özellik bu kaynakların yenilenme sürecinin, harcanma sürecinden daha hızlı olmasıdır. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarında kaybın daha az, enerji dönüşümünün daha hızlı olmasını sağlamaktadır (Öcal, 2020).

Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, biyogaz enerjisi, dalga enerjisi, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi yer almaktadır. Elektrik üretiminde nükleer ve jeotermal enerji dışındaki tüm kaynakların güneş kökenli olduğu belirtilmektedir (Akgün, 2006). Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının 2030 yılına kadar %8 seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir (Salmanoğlu, 2009).

Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yerel ve ulusal düzeyde planlanmasında önemli bir rol oynayan Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ve Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) gibi kuruluşlar ülkelerin enerji arz güvenliğini sağlamak ve güvenilir, ekonomik ve temiz enerji kaynaklarına ulaşmaları amacıyla araştırma ve analizler gerçekleştirip, kuruluşlara üye ülkelerin enerji üretim ve tüketim politikalarını yönlendirecek tavsiyeler sunmaktadır (Öcal, 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan sistematik planlar ülkelerin kalkınmasına önemli katkılar sunmaktadır (Gündüz, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ülkeler için önemli faydalar barındırmaktadır. Çevresel açıdan daha az zararlı olması, sürdürülebilir enerji temini, yerel kaynak ve malzeme kullanımını sağlayarak ülke ekonomisine katkı sunması ve ülkelerin enerji güvenliğini sağlama konusunda bu kaynakların rolünün önümüzdeki yıllarda da artarak devam etmesi beklenmektedir (Ergün, 2011). Fosil enerji kaynaklarının kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan sera gazı emisyonları ve karbon dioksit (CO_2) salınımının önlenmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli şekilde yönetimi ve kullanımı büyük önem taşımaktadır (Karamıklı ve Şaşmaz, 2021).

Yenilenebilir kaynaklardan enerji eldesinin yüksek maliyeti, kaynakların büyük çoğunluğundan aralıklı olarak sağlanan enerjinin depolanmasında yaşanan güçlükler ve enerji alt yapısının sınırlılığı gibi nedenler yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyada yaygın kullanımını engellemekle birlikte küresel ısınma ve çevre konusunda artan bilinç, enerji sektöründe üretim ve iletim teknolojilerinde yaşanan gelişmelerle birlikte gelecek yıllarda bu kaynaklara olan talep yoğunluğunun daha da artacağı düşünülmektedir (Bayraç, 2009). Yenilenebilir enerji kaynaklarının taşıdığı sürdürülebilir enerji tedarik potansiyeli, net enerji ithalatçısı ülkeler başta olmak üzere küresel enerji piyasasının tamamında dikkate alınmaktadır (Yılmaz, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, maliyetlerinin düşürülmesi, yenilenebilir enerji teknolojilerine teşviklerin ve AR-GE desteklerinin arttırılması sürdürülebilir ekonomik büyüme açısından büyük önem taşımaktadır (Yıldırım ve Kaya, 2021). Yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik olarak yapılan vergi teşvikleri, teknoloji maliyetlerinin düşürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Diğer bir önemli teşvik türü sabit fiyat garantisi olup yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin sisteme belirlenmiş bir sabit fiyattan enerji üreticilerinden satın alınmasına ilişkin garanti uygulamasıdır (Orun ve Demirgil, 2021).

Gelişmiş ülkeler nezdinde sürdürülebilir kalkınma için araç olarak görülen ve yaygın kullanım alanı bulunan yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr ve güneş enerjileri yer almaktadır (Öcal, 2020). Türkiye'de de son yıllarda güneş enerjisi kapasitesinde önemli bir artış yaşandığı görülmektedir. Bulunduğu iklim kuşağı dolayısıyla güneş enerjisinden daha fazla oranda yararlanma imkanı bulunmaktadır.

Ülkemiz özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi konusunda büyük bir potansiyel taşımakta olup, bu enerji türlerine yapılacak yatırımların kendini hızla amorti edebileceği ve enerji eldesinde yüksek verim sağlayabileceği öngörülmektedir (Sertkaya ve Baş, 2020).

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının tümünden coğrafi konumu ve jeopolitik yapısına bağlı olarak yeterli seviyede yararlanabilecek potansiyeli taşımaktadır. Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırıldığında daha elverişli bir konumda olduğu görülmekte olup; güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma konusunda avantajlı olmasına rağmen diğer yenilenebilir kaynaklardan yararlanma noktasında kurulum maliyetleri ve altyapı eksikliğinden dolayı büyük bir ilerleme sağlanamamıştır (Sarıtunalı, 2021). Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları kamu mülkiyetinde olup, bu kaynaklardan yararlanma belirli ilke ve kurallara bağlanmıştır. Bu kaynaklar için kamusal mallardan yararlanma ilkesi uygulanmaktadır (Güler, 2018). Yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir bölümü bağımsız yatırımcılarca yönetilmekte olup, çoğunlukla küçük enerji şirketleri tarafından kontrol edilmektedir. Büyük şirket ya da devletlerin sadece teknolojileri ile var olabilecekleri bu alanda geçmişten günümüze petrolün sebep olduğu savaş, huzursuzluk veya ekonomik istikrarsızlık ortamı oluşmamaktadır (Gündüz, 2021).

Ülkemizde son yıllarda elektrik üretiminin bir bölümü hidroelektrik, rüzgar, güneş, biyokütle, jeotermal, dalga, gel-git enerjisine doğru yönlenmiştir. Çevreye duyarlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek üretim yapan girişimcilere büyük teşvikler sağlanmaktadır. Bu teşvikler 2005 yılında yasalaştırılan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK) ile Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) işleyişleri aracılığıyla yapılmaktadır (Sinan, 2021). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) 2021 yılı kasım ayı kurulu güç raporu incelendiğinde, 99374,3 MW'lık toplam elektrik kurulu gücünün 23279,9 MW'lık kısmı barajlardan, 7745,6 MW'lık kısmı güneş enerjisinden, 10428,7 MW'lık kısmı rüzgar enerjisinden, 1539,2 MW'lık kısmı biyokütle enerjisinden sağlanmıştır (TEİAŞ, 2021).

Ülkemizde, YEKDEM teşvikleri ile doğrudan yerli üretim desteklenmekte ve enerjide yurt dışına olan bağımlılığın azaltılması hedeflenmektedir. Böylelikle uzun vadede çevre kirliliği azaltılacağından daha az maliyetli enerji üretimi sağlanması

amaçlanmaktadır (Sinan, 2021). Ülkelerin iklim değişikliği hedeflerine ulaşma ve enerji bağımlılığını azaltma noktasında yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin genişletilmesi için daha geniş sübvansiyonlar ve vergi indirimi gibi destek mekanizmalarının sürekli uygulanmasını zorunlu kılmaktadır (Koç, 2021).

Ülkemiz %70 oranında enerjide dışa bağımlı durumda olup, yapılan enerji ithalatları ekonomide cari açığın oluşmasına sebep olmaktadır (Tanrıöver, 2020; Orun ve Demirgil, 2021). Oluşan bu cari açığın kapatılması noktasında yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların büyük oranda arttırılması gerekmektedir (Sertkaya ve Baş, 2020). Ülkemizin 2023 hedeflerinden biri de yenilenebilir enerjinin üretimdeki payının arttırılması olup, 2023 yılında toplam elektrik üretiminin %30'luk kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması hedeflenmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulum ve donanım sanayisinin gelişimine önem verilmektedir (Sağır, 2021; Sarıtunalı, 2021). Ülkemizde tüm yenilenebilir enerji türlerinde kurulu gücün zamanla artış göstereceği, 2030 yılında en çok istihdam oluşturacağı tahmin edilen enerji türlerinin sırasıyla hidroelektrik enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi olacağı öngörülmektedir (Güllü ve Kartal, 2021).

Enerji geçmişte olduğu gibi gelecekte de dünya genelinde önemini sürdürmeye devam edecektir. Bu noktada artan enerji tüketimi dolayısıyla özellikle sanayi sektöründe gelişmekte olan ülkelerin yenilenebilir enerji yatırımlarını desteklemesi önem arz etmekte olup, gelişen teknolojilerini yenilenebilir enerji kaynaklarının keşfi ve üretimi yönünde kullanarak yatırımlarını bu kaynaklara uygun olarak yönlendirmelidirler (Konat, 2021).

Bu çalışmada, Bursa ili Yıldırım ilçesinde yer alan bir konutun elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasını sağlamak amacıyla hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarımları yapılmış, sistemlerin maliyet ve uygulanabilirliği HOMER Pro programı kullanılarak belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı birçok yönden avantaj sağlamakla birlikte çeşitli dezavantajlar da barındırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ait avantajlar ve dezavantajlar Çizelge 2.1'de yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ait avantajlar ve dezavantajlar (Bozkurt, 2008; Alpdoğan, 2009; Bayramoğlu, 2014; Şahintürk, 2014)

Kaynak	Avantajlar	Dezavantajlar
Güneş Enerjisi	-Düşük çevresel etkilere sahip olması -Temiz ve tükenmez özellik taşıması -Yerli ve ekonomik kaynak oluşu -Basit teknolojiye sahip olması	-Yatırım maliyetinin yüksek olması -Gün ışığına, iklim ve hava koşullarına bağlı olması -Geniş alan ihtiyacı
Rüzgar Enerjisi	-Kırsal bölgelerde istihdam ve gelir olanağı sağlama -Atmosferde bol miktarda bulunması ve tükenmez özellik taşıması -Yerli ve temiz kaynak olması -Ham madde ve yakıt maliyeti bulunmaması -Kolay kurulum ve işletme şartları	-Bulunduğu bölgenin topoğrafyasına ve hava şartlarına bağlı olarak değişim gösterme -Geniş alan ihtiyacı -Gürültü kirliliği oluşturma - Televizyon, radyo, telsiz, vb. haberleşme sinyalleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturması
Biyokütle Enerjisi	-Sera gazı emisyonlarının azaltımı -Tarımsal istihdam olanağı sağlama -Çevre ve insan sağlığına zarar vermemesi -Düşük CO_2 emisyonuna neden olması	- Enerji içeriğinin düşük olması -Yatırım maliyetinin yüksek olması -Biyoçeşitlilik kaybı Yem ve gıda fiyatlarında artışa neden olması
Jeotermal Enerji	-Enerji birim maliyetinin düşük olması -Güvenli ve esnek işletme şartları -Sürekli olarak enerji sağlama -İnşa süresinin kısa olması	-Kaynak akışkanın pas ve kireçlenmeye sebep olması -Yüzeysel su kaynaklarının kirlenmesi -Kaynak akışkanın bor, CO_2 ve H_2S gibi kirleticiler barındırması -Tesis maliyetinin yüksek olması

Çizelge 2.1. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ait avantajlar ve dezavantajlar (devam)

Dalga Enerjisi	-Temiz ve tükenmez enerji kaynağı -Denizlerde ekolojik dengenin korunmasına katkı sağlama -Arazi işgalinin olmaması	-Yüksek yatırım ve bakım maliyetleri -Görüntü kirliliği -Sabit olmayan enerji üretimi
Hidroelektrik Enerji	-Kolay ve esnek işletme şartları -Düşük bakım ve onarım maliyeti - Yüksek işletme ömrü -Enerji üretimi, sulama, balıkçılık, vb. amaçlı kullanım olanağı sağlama	-Tarım ve yerleşim alanlarının kaybedilmesi -Yüksek yatırım maliyeti -İnşa süresinin uzun olması

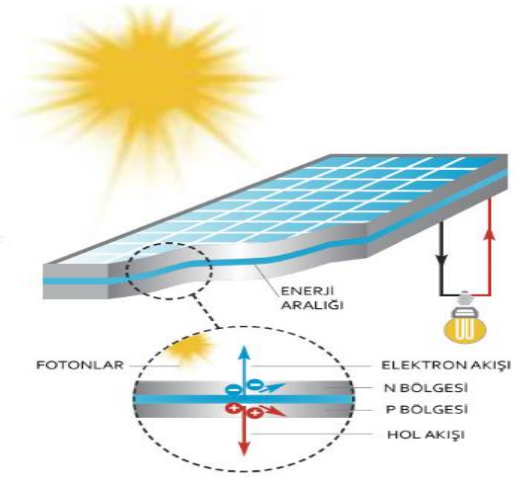
2.1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneş çekirdeğindeki füzyon süreciyle (hidrojen gazının helyuma dönüşümü) meydana gelen ışıma enerjisidir (ETKB, 2022a). Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık 170 milyon MW değerinde enerjinin ulaştığı belirtilmektedir (İnce, 2021). Güneş enerjisinden ısı ve ışık enerjisi olarak doğrudan yararlanılabileceği gibi başta elektrik üretimi olmak üzere sıcak su eldesi, alan ısıtma ve soğutma, sanayi kuruluşları için proses ısı enerjisi sağlama, kurutma ve seraların ısıtılması amacıyla yararlanılabilmektedir. Güneşten elektrik enerjisi üretiminde ısıl güneş teknolojileri ve fotovoltaik (PV) teknolojisinden yararlanılmaktadır.

Isıl güneş teknoloji sistemlerinde güneşten elde edilen ısı enerjisi doğrudan yahut elektrik üretiminde kullanılabilmektedir (ETKB, 2021a). Isıl Güneş Enerji Teknolojileri düşük sıcaklık ve yoğunlaştırıcılı ısıl sistem uygulamaları olmak üzere iki gruba ayrılır. Güneş bacaları, güneş havuzları, düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörleri, su arıtma sistemleri, gıda ürünleri kurutma ve sera ısıtma sistemleri, vb. düşük sıcaklık eldesine yönelik uygulamalardır. Bu uygulamalar içerisinde düzlemsel güneş kolektörleri güneş enerjisinden en yaygın ve basit faydalanma yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Yoğunlaştırıcılı ısıl güneş enerjisi teknolojileri ise elektrik enerjisi üretiminde yoğun olarak kullanım alanı bulmaktadır. Yoğunlaştırıcılı ısıl güneş teknolojileri parabolik oluk tipi kolektörler, merkezi alıcılı sistemler ve parabolik çanak sistemleri olarak üçe ayrılmaktadır (ETKB, 2022a). Parabolik oluk tipi kolektörler, yoğunlaştırıcılı ısıl sistem uygulamalarının en yaygın olanıdır. Bu sistemler yüksek kaliteli ısı enerjisi

sağlayabildiğinden dolayı önem kazanmıştır. Sanayi tesislerinde kullanılan buhar, bu türdeki güneş toplayıcılarıyla üretilebilmektedir. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri ve elektrik üretiminde de bu sistemlerden yararlanılabilmektedir. Bu tür toplayıcılarda yaygın olarak sentetik ısıl yağlar akışkan olarak kullanılmaktadır. Akışkan debisinin yüksek seçilmesi toplayıcılarda faydalı ısı ve ısıl verimi artırmakta, akışkan giriş sıcaklığının artması ısıl verimi düşürmektedir. Bu nedenle toplayıcıların yüksek sıcaklık uygulamalarında düşük verimlilikle çalışacağı öngörülmektedir (Yiğit ve Arslanoğlu, 2021). Güneş kolektörlerinde en önemli unsur güneş ışınının verimli bir şekilde absorblanmasıdır. Bu nedenle güneş ışınımı absorblama katsayısı mümkün olan en yüksek değerde tutulmalıdır. Bu değerin genellikle 0,9 ile 0,98 arasında olduğu belirtilmektedir (Günerhan ve Arslan, 2019).

PV teknolojisinde yarı iletken maddeler olan PV güneş hücreleri yüzeylerine gelen ışık enerjisinden elektrik üretimi gerçekleştirilmekte olup, gerçekleşen bu dönüşüm sırasında mekanik hareket olmaması bu tür sistemlerin uzun ömürlü olmasını ve bakım maliyetlerinin minimum seviyede kalmasını sağlamaktadır. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen PV hücrelerinin genellikle alanları 100 cm², kalınlıkları ise 0,1- 0,4 mm aralığındadır. Güneş enerjisi, PV hücrenin yapısına bağlı olarak %5- 30 arasındaki verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda PV hücre birbirlerine paralel yahut seri bağlanıp bir yüzey üzerine monte edilerek PV modül oluşturulmaktadır (Yıldırım ve diğ., 2019; Atalay ve diğ., 2019). Şekil 2.1'de PV panellerden enerji üretimi yer almaktadır.



Şekil 2.1. PV panellerden enerji üretimi (Anonim, 2022)

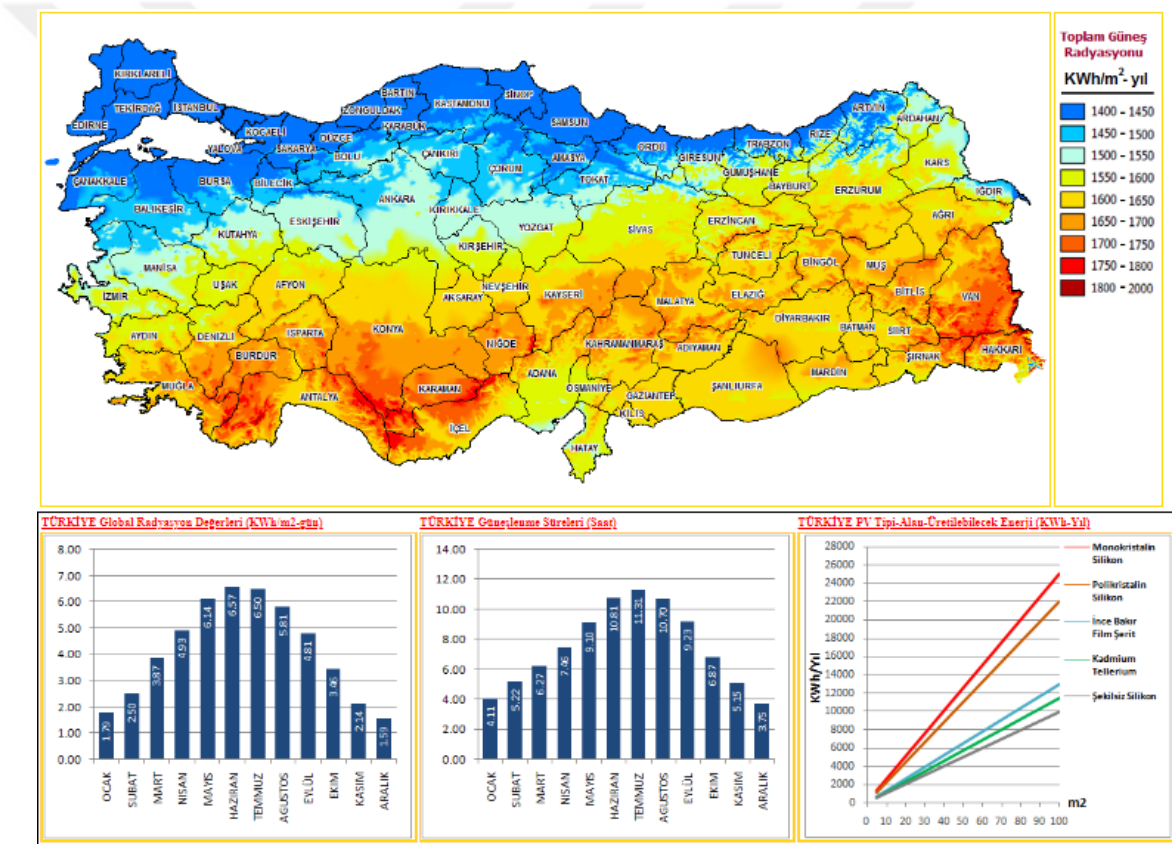
PV hücre teknolojileri temel olarak kristal hücre teknolojisi ve ince film hücre teknolojisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kristal silikon teknolojisinde monokristal ve polikristal güneş hücreleri yer almaktadır. Bu hücreler arasındaki fark güneş pilinin üretiminde kullanılan silisyumun saflık derecesinden kaynaklanmaktadır. Monokristal güneş pilleri daha saf silisyuma sahiptir. Monokristal güneş pilleri, polikristal güneş pillerine göre daha verimli olmasına rağmen maliyetinin daha yüksek değerde olduğu belirtilmektedir. İnce film güneş pillerinin verimleri %10 civarında düşük bir değerde olup, atmosfer dışındaki verimlerinin %30'a ulaşması nedeniyle uzay ve uydu çalışmalarında yaygın kullanım alanı bulmaktadır (Ceylan, 2018; İzgi ve Özcan, 2020). Kristal hücre teknolojisi en verimli teknoloji olarak kabul edilmektedir. İnce film teknolojileri kristal hücre teknolojisine kıyasla daha az verime sahiptir, ancak maliyet performans endeksi açısından daha iyi sonuçlar sunmaktadır (İzgi ve Özcan, 2020). PV sistemler yaklaşık olarak 25° sıcaklıkta maksimum verimde çalışmakta olup, yüksek sıcaklıklarda sistemlerde verim kayıpları oluştuğu belirtilmektedir (Genç, 2019; Özdemir ve Güngör, 2019).

PV sistemler depolamalı ve şebeke bağlantılı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Depolamalı sistemler elektrik şebekesinden bağımsız olup, güneş panelleriyle üretilen elektriğin aküde depolanarak kullanımına olanak sağlamaktadır. Şebeke bağlantılı sistemler enerji depolamasına gerek kalmadan elektrik ihtiyacının karşılandığı, üretilen fazla enerjinin ise şebekeye verilerek maddi kazanç sağlanmasına, yeterli üretim olmadığı durumlarda ise şebekeden enerji alımına olanak veren sistemlerdir (Güven, 2016; Dal ve Yılmaz, 2020).

PV panellerin yapılarda kullanımı iki farklı şekilde olmaktadır. Bunlardan ilki bina uygulamalı PV sistem, diğeri ise binaya entegre PV sistemdir. Bina uygulamalı PV sistemde PV paneller mevcut çatılara monte edilirken, binaya entegre PV sistemde PV paneller mevcut yapı malzemelerinin yerine veya bina mimarisine uygun olarak bina dış kabuğuna eklenebilirler. Bu sistemler tasarım ve yapım aşamasındaki binalara uygulanabileceği gibi mevcut binalarda iyileştirme olarak da kullanılabilirler (Zomer ve diğ., 2013; Yıldız ve diğ., 2020). Çatılarda kullanılacak güneş panelleri genellikle alüminyum malzemeden üretilen raylar üzerine yerleştirilmektedir. Paneller ile çatı

kaplaması arasında en az 10 cm'lik boşluk bırakılarak panellerin aşırı ısınması ve verimlerinin azalması önlenmektedir (Genç, 2019).

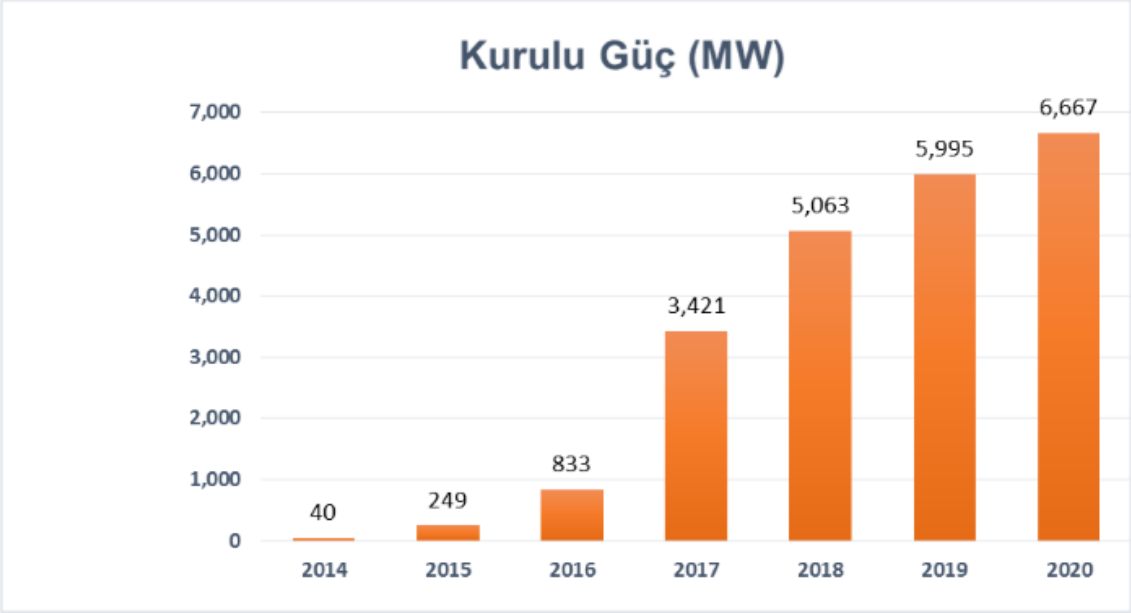
Ülkemizin güneş enerjisi teknik potansiyelinin 190 TWsa/yıl civarında olduğu belirtilmektedir (Akusta ve Cergibozan, 2020). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verileri doğrultusunda ülkemizin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2741,07 saat, ortalama günlük toplam güneşlenme süresinin 7,5 saat, ortalama yıllık toplam ışınım şiddetinin 1527,46 kWsa/m^2, ortalama günlük toplam ışınım şiddetinin ise 4,18 kWsa/m^2 olduğu belirlenmiştir (ETKB, 2021a). Şekil 2.2'de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası yer almaktadır.



Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (ETKB, 2021b)

Şekil 2.2 incelendiğinde, ülkemizin en fazla güneş ışınım değerine sahip bölgelerinin güneyde, en düşük bölgelerinin kuzeyde yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte en düşük potansiyel barındıran Karadeniz Bölgesi'nin bile güneş enerjisi kullanımında önemli bir paya sahip olan Almanya'nın güneş potansiyelinden daha yüksek potansiyele

sahip olduğu belirtilmektedir (Kan Kaynar, 2020). Şekil 2.3'te yıllara göre güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü yer almaktadır.



Şekil 2.3. Yıllara göre güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü (ETKB, 2022a)

Şekil 2.3 incelendiğinde 2014 yılında 40 MW olan güneş enerjisi elektrik kurulu gücünün 2020 yılında 6667 MW'a ulaştığı, bu miktarın 2020 yılı toplam elektrik üretimi içerisindeki payının %3,66 olduğu bildirilmektedir (ETKB, 2022a).

2.1.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, güneşin yer yüzeyini eşit düzeyde ısıtmamasından dolayı meydana gelen sıcaklık ve basınç farkları sonucu oluşmaktadır. Rüzgar enerjisi hava kütlesinin barındırdığı hareket enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilmekte olup, dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'lik kısmının rüzgar enerjisine dönüşebileceği bildirilmektedir (Özen ve diğ., 2015). Küresel rüzgar enerji potansiyelinin 53 TWsa/yıl olduğu belirtilmektedir (Şık, 2014). Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın "Rüzgarın Geleceği" adıyla yayınladığı rapora göre, 2050 yılında küresel elektrik ihtiyacının %35'inin rüzgar enerjisinden karşılanacağı, kara rüzgâr enerjisi kapasitesinin 5044 GW 'ye, deniz rüzgâr enerjisinin ise 1000 GW'ye ulaşacağı tahmin edilmektedir (IRENA, 2019; Kaya, 2020). Kara üstü rüzgâr santralleri, deniz üstü rüzgâr santrallerine göre daha düşük kurulum, işletme ve

türbin maliyetine sahip olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmakta olup, önümüzdeki yıllarda deniz üstü rüzgar santrallerinin sayısında büyük artış yaşanacağı öngörülmektedir (Elibüyük ve Üçgül, 2014).

Rüzgar enerji santralleri olan türbinlerde havanın sahip olduğu kinetik enerjinin mekanik enerjiye, oluşan bu mekanik enerjinin ise elektrik enerjisine dönüşümü söz konusudur (Güven ve Mete, 2021). Kurulumunda yüksek teknoloji ve sermaye gerektiren rüzgâr enerji santralleri, hammadde ihtiyacı olmaması nedeniyle işletme aşamasında düşük maliyet kalemi oluşturmaktadır. Rüzgâr enerji teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler ve bu uygulamaların yaygınlaşması kurulum maliyetlerini düşürmektedir. Genellikle kırsal alanlarda konumlandırılan rüzgar enerji santralleri arazi şartlarının uygun olması durumunda kuruldukları alanda tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin sürdürülmesine olanak sağlamaktadır. Ülkemiz AB ülkeleri arasında rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından ilk 3 sırada yer almaktadır (Aydın, 2013).

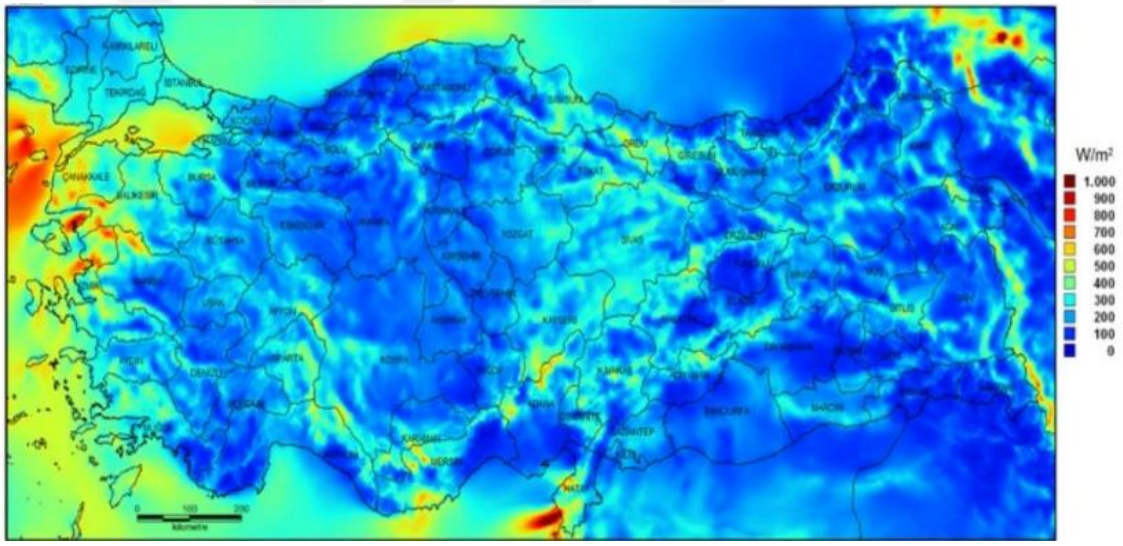
Rüzgâr ölçüm istasyonlarından elde edilen rüzgâr hız ve yön verileri, rüzgâr enerji santralleri projelerinin uygulanabilirliğinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Rüzgâr hızı ölçümleri Dünya Meteoroloji Teşkilatı'nın belirlediği 10 m yükseklikte yapılmaktadır. Farklı bir yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı ile başka bir yükseklikte bulunan rüzgâr hızının tahmininde kullanılan Hellmann Denklemi yardımıyla rüzgâr türbin yüksekliğindeki rüzgâr hızı bulunabilmektedir. Hellmann Denklemi;

$$\frac{V}{V_0} = (\frac{H}{H_0})^{\alpha} \qquad (2.1)$$

Denklemde H_0 referans yüksekliği, V_0 referans yükseklikteki rüzgâr hızını, H rüzgâr hızının hesaplanmak istendiği yüksekliği, α sürtünme katsayısını, V ise H yüksekliğindeki rüzgâr hızını ifade etmektedir (Çelikdemir ve Özdemir, 2020). Rüzgâr verilerinin analizinde Weibull ve Rayleigh dağılımlarının en fazla kullanılan yöntemler olduğu belirtilmektedir. Weibull dağılımı iki parametreye, Rayleigh dağılımı ise tek parametreye sahip olup, Weibull dağılımı iki parametreli olduğu için Rayleigh dağılımına göre daha esnek olmaktadır (Oral, 2020).

Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği tarafından yapılan sınıflandırmaya göre türbin eksen yüksekliğinde ortalama rüzgar hızı 6,5 m/s için iyiye yakın, 7,5 m/s için iyi, 8,5 m/s için çok iyi olarak; enerji potansiyeli bakımından incelendiğinde 100-300 W/m^2 arası iyiye yakın, 300-700 W/m^2 iyi ve 700 W/m^2 'den büyük olduğu durumlarda çok iyi olarak belirtilmektedir (Bilgili ve diğ., 2010).

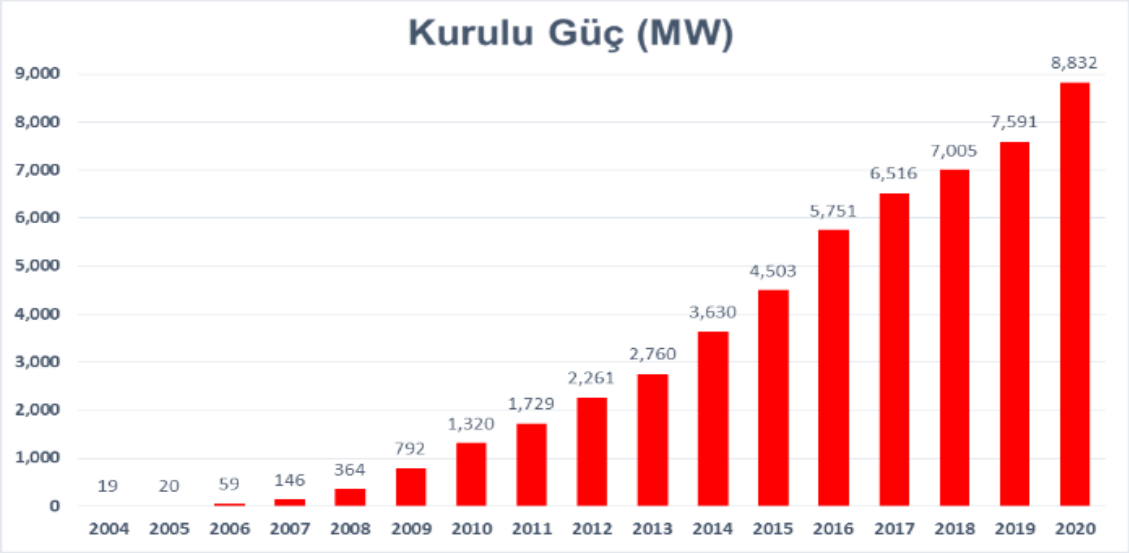
Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası'nda (REPA) yer seviyesinden 50 m yüksekte ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgâr hızına sahip uygun alanlarda km^2 başına 5 MW'lık güçte rüzgâr santrali kurulabileceği kabulüyle ülkemizin rüzgar santralleri toplam potansiyelinin 47849,44 MW değerinde olduğu, bu potansiyelin 37836 MW'lık kısmı karasal, 10013 MW'lık kısmı deniz üstü potansiyeli olarak belirlenmiştir (ETKB, 2021c). Şekil 2.4'te Türkiye rüzgar güç yoğunluğu haritası yer almaktadır.



Şekil 2.4. Türkiye rüzgar güç yoğunluğu haritası (50 m) (Yakşi, 2018)

Şekil 2.4 incelendiğinde Ege ve Marmara bölgelerinin, ülkemizde rüzgar potansiyeli en yüksek bölgeler olduğu görülmektedir.

Ülkemizin karasal brüt rüzgâr enerji potansiyelinin 400 milyar kWsa/yıl, teknik rüzgâr enerji potansiyelinin 120 milyar kWsa/yıl, ekonomik rüzgâr enerji potansiyelinin 50 milyar kWsa/yıl olduğu belirtilmektedir (Çelikdemir ve Özdemir, 2020). Şekil 2.5'te yıllara göre Türkiye rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü yer almaktadır.



Şekil 2.5. Yıllara göre Türkiye rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü (ETKB, 2021c)

Şekil 2.5 incelendiğinde 2004 yılında 19 MW olan rüzgar kurulu gücünün 2020 yılında 8832 MW'a yükseldiği, 2020 yılında rüzgar enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payının %8,09'a ulaştığı belirtilmektedir (ETKB, 2021c).

2.1.3. Biyokütle Enerjisi

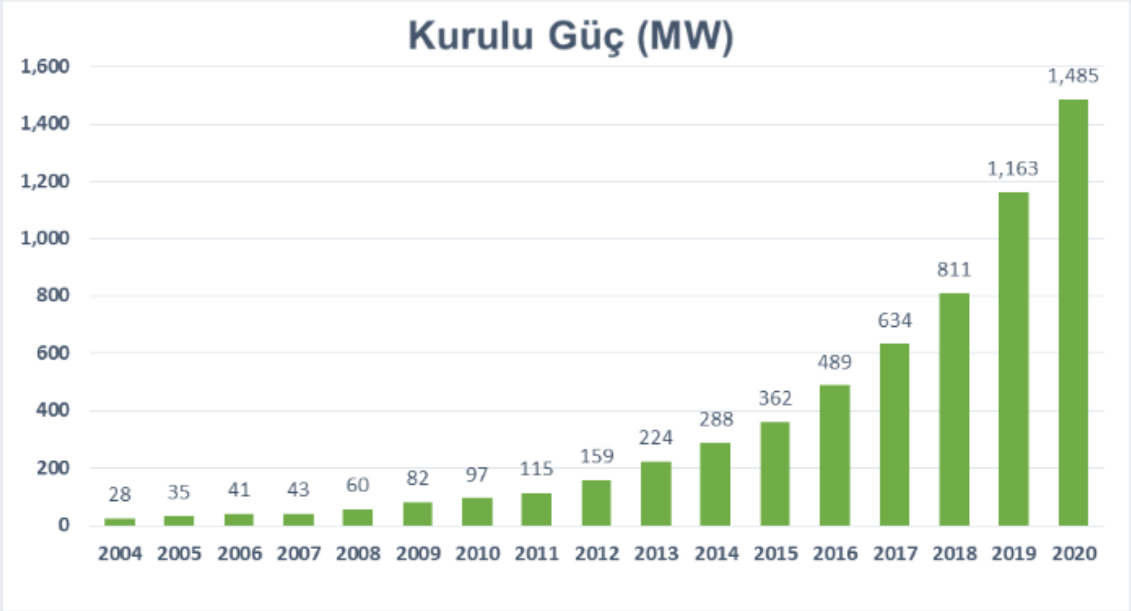
Biyokütle enerjisi güneş enerjisinin fotosentez yoluyla yapılarında depolandığı, yüz yıldan daha kısa bir sürede yenilenebilen, biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kütlelerinden elde edilen enerji türüdür (Köle ve Cural, 2019). Özellikle az gelişmiş ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir paya sahip olan biyokütle enerjisi diğer yenilenebilir kaynaklardan farklı olarak yakıt ve elektrik üretimi sağlayabilen, sürekli üretimin yapılabileceği ve kırsal kesimin ihtiyaçlarını düşük maliyetle karşılayabilecek tek kaynaktır. Dünyanın dördüncü en büyük enerji kaynağını oluşturan biyokütleden elde edilecek enerjinin küresel enerji talebinin %25'ini karşılayabileceği öngörülmektedir.

Biyokütleden elde edilen biyogaz enerjisinden ısıtma, kurutma ve elektrik üretiminde faydalanılmaktadır. Biyogaz üretimi sonucu oluşan atıklar yüksek kalitede organik gübre kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir (Kapluhan, 2014; Seyitoğlu ve Avcıoğlu, 2021). Net bir CO_2 salınımına sahip olmaması, düşük miktardaki azot ve

kükürt içeriği dolayısıyla biyokütle, çevre dostu bir enerji kaynağıdır (Ünlü, 2019). Ülkemizde biyokütle kaynakları genellikle doğrudan yakılarak işlenmekte olup, bu kaynaklar elektrik üretimi başta olmak üzere mobilya, kağıt, yalıtım maddesi üretiminde, son yıllarda ise biyoyakıt eldesinde kullanım alanı bulmaktadır. Biyokütleden elde edilen yakıtlar arasında biyoetonel, biyogaz, biyodizel, metan, hidrojen, gübre, odun briketi v.b. yer almaktadır (Erdoğan, 2020; İnançlı ve Akı, 2020). Ülkemizin biyokütle atık potansiyelinin 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarının 1,5-2 MTEP civarında olduğu bildirilmektedir. Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA) verilerine göre, biyokütle atıklarımızın toplam ekonomik enerji eşdeğerinin 3,9 MTEP/yıl civarında olduğu belirtilmektedir. Biyokütle kaynakları 4 grup altında incelenmektedir (ETKB, 2021d; 2021e).

a) Bitkisel Biyokütle Kaynakları: Bitkisel ve tarımsal artıklar, şeker ve nişasta bitkileri, yağlı tohumlu bitkiler, protein bitkileri, elyaf bitkileri.
b) Orman ve Orman Ürünlerinden Sağlanan Biyokütle Kaynakları: Odun ve orman artıkları.
c) Hayvansal Biyokütle Kaynakları: At, sığır, tavuk, koyun, vb. hayvan dışkıları, mezbahane atıkları, hayvansal ürün işlenmesi sırasında oluşan atıklar.
d) Organik Çöp, Şehir ve Endüstriyel Atıklardan Sağlanan Biyokütle Kaynakları: Kanalizasyon ve dip çamurları, gıda ve kağıt sanayisi atıkları, evsel ve endüstriyel atıksular, büyük sanayi tesisleri ve belediyelere ait atıklar.

Şekil 2.6'da yıllara göre biyokütle enerjisi kurulu gücü yer almaktadır.



Şekil 2.6. Yıllara göre biyokütle enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü (ETKB, 2021e)

Şekil 2.6 incelendiğinde 2004 yılında 28 MW olan biyokütle kurulu gücünün 2020 yılına gelindiğinde 1485 MW'a ulaştığı (369 MW'ı atık ısı), bu değerin 2020 yılı toplam elektrik üretiminin %1,8'ini oluşturduğu belirtilmektedir (ETKB, 2021e).

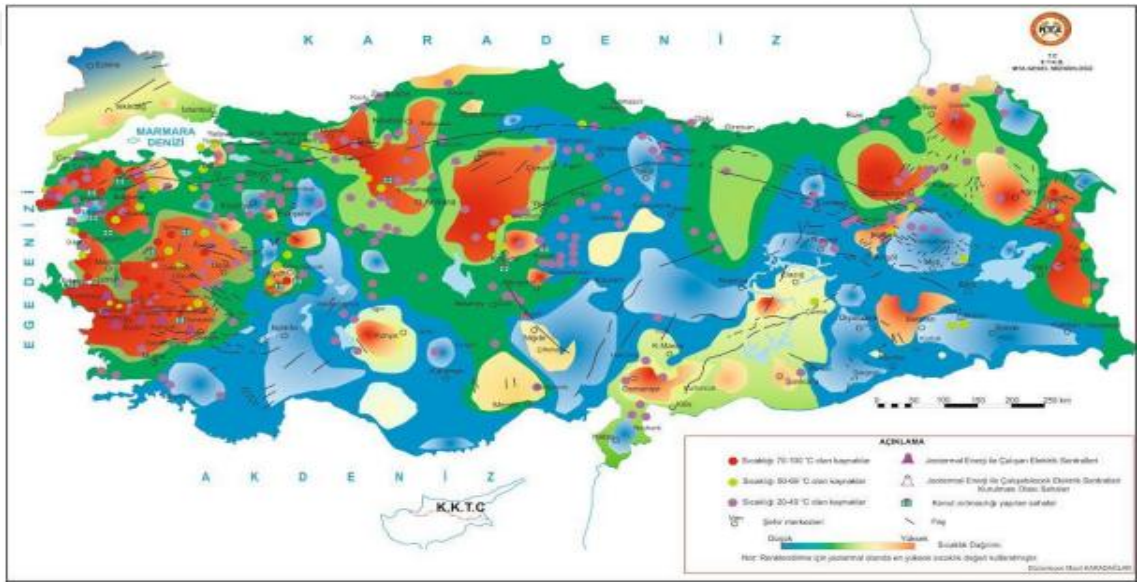
2.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğunun derinliklerinde birikmiş olan ısı ve basıncın meydana getirdiği sıcaklıkların sıcak su, buhar ve gazlar aracılığıyla yer yüzeyine taşınmış ısı enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi, ısı üretimi ve termal turizm alanlarında faydalanılmaktadır.

Ülkemiz coğrafik ve jeolojik konumu dolayısıyla aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer almakta olup, jeotermal enerji potansiyeli açısından Avrupa'da 1. ülke, kurulu güç açısından dünyada 4. ülke durumundadır (ETKB, 2021f). Jeotermal enerji kaynaklarının dünyadaki dağılımına bakıldığında, Alp-Himalaya kuşağı, And volkanik kuşağı, Doğu Afrika Rint sistemi, Karayip Adaları ve Orta Amerika volkanik kuşağında yoğunlaşma olduğu görülmektedir (Karademir, 2020). Ülkemizde jeotermal kaynak alanlarının %78'i Batı Anadolu, %9'u İç Anadolu, %7'si Marmara Bölgesi, %5'i Doğu Anadolu ve %1'i diğer bölgelerde bulunmaktadır. Ülkemizde jeotermal kaynakların %90'lık kısmı orta ve düşük sıcaklıkta bulunup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm,

endüstriyel kullanım vb.) için, %10'luk kısmı ise dolaylı uygulamalar (elektrik üretimi) için uygundur.

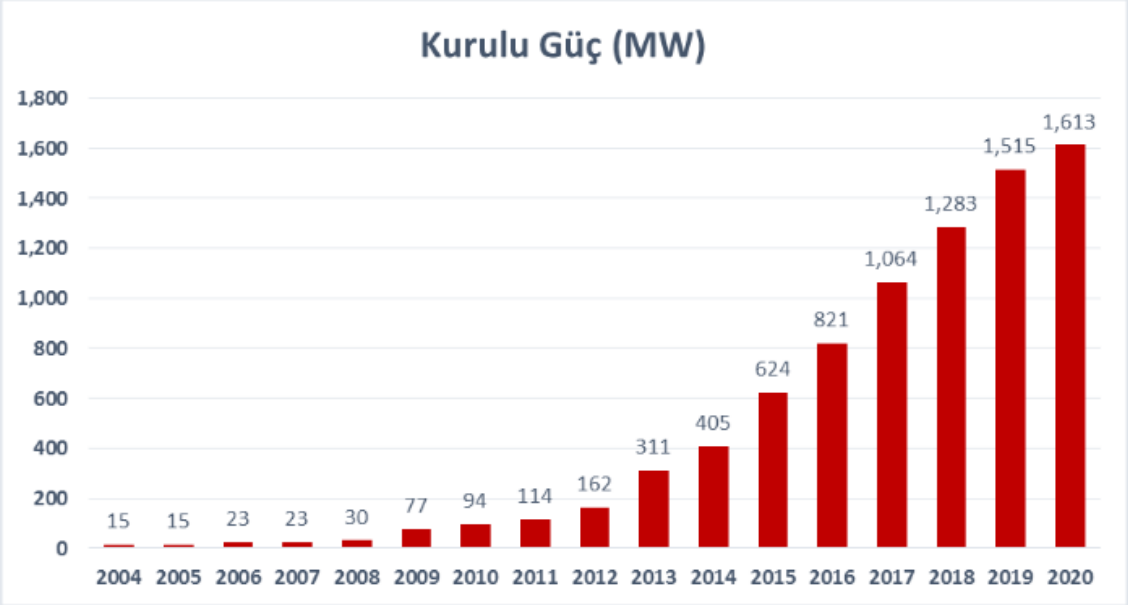
Ülkemizde jeotermal enerji uygulamalarıyla ilk elektrik üretimine 1975 yılında 0,5 MWe gücündeki Kızıldere Santrali ile başlanmıştır. Ülkemizin jeotermal ısı potansiyelinin 31500 MWt, bu potansiyelin elektik üretimine uygun olan kısmının 2000 MWe olduğu tahmin edilmektedir (ETKB, 2021f). Jeotermal enerji santrallerinde elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kinetik enerjiden elektrik enerjisine çevrimi söz konusudur (Konyalı, 2019). Şekil 2.7'de jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası yer almaktadır.



Şekil 2.7. Jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası (ETKB, 2021f)

Şekil 2.7 incelendiğinde ülkemizde bölgelerin jeotermal enerji potansiyelleri arasında karşılaştırma yapıldığında Batı Anadolu bölgesinin en yüksek jeotermal potansiyeli barındırdığı gözlenmektedir.

Şekil 2.8'de yıllara göre jeotermal enerji elektrik kurulu gücü yer almaktadır.



Şekil 2.8. Yıllara göre jeotermal enerji elektrik kurulu gücü (ETKB, 2021g).

Şekil 2.8 incelendiğinde 2004 yılında 15 MW olan jeotermal enerji kurulu gücünün 2020 yılına gelindiğinde 1613 MW'a yükseldiği, 2020 yılı toplam elektrik üretiminin %3,25'inin jeotermal enerjiden sağlandığı belirtilmektedir (ETKB, 2021g).

2.1.5. Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, denizler ve okyanuslar üzerinde rüzgâr enerjisinin neden olduğu bir enerji çeşididir. Yeryüzünün 3/4'ünü oluşturan ve en fazla güneş ışını alan okyanuslarda yüzeyde ısınan su kütlesi ile derinlerdeki serin sular arasındaki sıcaklık farkı termal enerjiyi meydana getirmektedir. Yüzey hareketleri sonucunda oluşan dalga enerjisi gel-git enerjisi olarak da adlandırılmaktadır. Dalgaların sıklık ve genişliğine göre gece gündüz elektrik üretimi yapılabilmekle birlikte, üretimin miktar ve kalitesi bölgelere göre değişiklik göstermektedir (Bekar, 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en az kullanılan enerji türü olan dalga enerjisinde güç, zamanın %90'nından elde edilmekte olup, güneş ve rüzgâr zamanına göre %60-70 oranında yüksek olmaktadır. Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri üçe ayrılmaktadır: Açık deniz sistemleri, deniz kıyısı sistemi ve kıyı yakını sistemi. (Erdoğan, 2020). Çizelge 2.2'de dalga enerjisi dönüşüm sistemleri ve enerji üretim süreci yer almaktadır.

Çizelge 2.2. Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri ve enerji üretim süreci (Sağlam ve Uyar, 2005; Erdoğan, 2020)

Açık Deniz Sistemleri	-Su sütunu ile kapalı alanda yapılan hareket ile türbinde hava basıncının sağlanması - Su üzerinde büyük hacimli kütlenin hızlı bir şekilde alçalmasıyla hareketin sağlanması - Dalgaların yukarı yönlü hareketiyle suların doğrudan türbinlere iletilmek üzere depo içinde birikimi
Deniz Kıyısı Sistemi	- Su sütunu ile kapalı alanda yapılan hareket ile türbinde hava basıncının sağlanması - Dalgaların yukarı yönlü hareketiyle suların doğrudan türbinlere iletilmek üzere depo içinde birikimi - Suyun kaldırma kuvveti sayesinde hacimli kütlelerin hareketinin sağlanması
Kıyı Yakını Sistemi	- Su sütunu ile kapalı alanda yapılan hareket ile türbinde hava basıncının sağlanması - Su üzerinde büyük hacimli kütlenin hızlı bir şekilde alçalmasıyla hareketin sağlanması - Dalgaların yukarı yönlü hareketiyle suların doğrudan türbinlere iletilmek üzere depo içinde birikimi

Dalga enerjisini dönüştürmek amacıyla dalga jeneratörleri kullanılmaktadır. Gelgit enerji sistemleri, dalga çiti, deniz suyu ısıl enerji kazanım sistemleri dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünde kullanılan sistemlerdir (Konyalı, 2019).

2.1.6. Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik santraller çevreye uyumlu, temiz, yüksek verimli, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük, yerli kaynaklar olarak öne çıkmaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjisiyle kıyaslandığında sürekliliği, kararlılığı ve kontrol edilebilirliği en yüksek olan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik santrallerde farklı zaman ve iklim şartlarında kesintisiz şekilde enerji elde edilebilmektedir (Kocaman, 2015).

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları içinde en önemli konumda bulunan hidrolik kaynaklarımızın teorik hidroelektrik potansiyelinin 433 milyar kWsa, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelinin 216 milyar kWsa ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelinin 160 milyar kWsa/yıl değerinde olduğu belirtilmektedir. Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi'nde 2023 yılına kadar ülkemizin teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek hidroelektrik enerji potansiyelinin tümünün elektrik üretiminde kullanılması amaçlanmaktadır. Ülkemizin teorik hidroelektrik

potansiyelinin dünya teorik potansiyelinin %1'ini, ekonomik potansiyelinin ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16'sını oluşturduğu belirtilmektedir (ETKB, 2021h).

Ülkemizde 1990 yılında 6764,3 MW olan hidroelektrik enerji kurulu gücü 2020 yılına gelindiğinde 8058,9'u akarsu, 22925'i barajlı olmak üzere toplamda yaklaşık 30984 MW'a ulaşmış olup, 2020 yılında bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin 78094 GWsa değerinde gerçekleştiği belirlenmiştir (İnançlı ve Akı, 2020; TEİAŞ, 2020; ETKB, 2022b).

Hidroelektrik enerjisi, en gelişmiş teknolojiye sahip yenilenebilir enerji türü olup, üretiminde doğal ve yapay barajlardaki suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülerek elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Akış durumundaki suyun hızıyla birlikte açığa çıkan enerji boru veya kanala aktarılıp türbinlerin hareket etmesi sağlanarak elektrik enerjisi üretilmektedir (Konyalı, 2019; Güneşli, 2019). Üretilecek enerji miktarı yükseklik ve akım değerlerine bağlıdır. Hidroelektrik enerji santralleri küresel olarak en yaygın enerji kaynağı olup, yüksek verimli güç santralleri olarak öne çıkmaktadır (Demir ve Baş, 2020). Hidroelektrik santrallerden elektrik üretimi yanında balıkçılık, ulaşım, sulama alanlarında da yararlanılmaktadır (Bekar, 2020). Çizelge 2.3'te Türkiye'nin 2021 yılı sonu itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ait santral adetleri ve kurulu güç miktarları yer almaktadır.

Çizelge 2.3. Türkiye'nin 2021 yılı sonu itibariyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ait santral adetleri ve kurulu güç miktarları (TEİAŞ, 2022)

Kaynak	**Santral Adedi**	**Kurulu Güç (MW)**
Akarsu	604	8212,2
Atık Isı	94	390,9
Barajlı	141	23280,4
Biyokütle	380	1644,5
Güneş	8389	7815,6
Jeotermal	63	1676,2
Rüzgar	355	10607,0

Çizelge 2.3 incelendiğinde 2021 yılında da kurulu güç bakımından en yüksek yenilenebilir enerji kaynağının 31492,6 MW ile hidroelektrik enerjisi olduğu görülmektedir.

Literatür incelendiğinde HOMER Pro programı kullanılarak enerji sistemi modellemesi gerçekleştirilen birçok çalışmanın yer aldığı görülmektedir. Gülkokan (2017) farklı coğrafi ve iklimsel koşullarda bulunan Almanya'da yer alan Berlin ile Türkiye'de yer alan Muğla kentlerinde bulunan müstakil konutların elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla PV ve rüzgâr enerji sistemlerinin yer aldığı hibrit enerji sistemi tasarımı ve optimizasyonunu HOMER Pro programı aracılığıyla gerçekleştirmiştir. Yakıt optimizasyonu senaryosuna göre yapılan analizler sonucu, her iki kent için 10 kW gücünde PV, 1 adet 3,2 kW gücünde rüzgar türbininden oluşan sistem optimum olarak belirlenmiştir. Berlin'de yıllık elektrik üretiminin %54,84'lük kısmı PV panellerden, %39,54'lük kısmı rüzgar türbininden karşılanırken; Muğla'da elektrik üretiminin %72,43'lük kısmı PV panellerden, %21,94'lük kısmı rüzgar türbininden karşılanmıştır. Her iki bölgede enerji sisteminin karşılayamadığı %5,6'lık kısım şebekeden temin edilmiştir. Tüketim fazlası elektrik miktarları Berlin ve Muğla için sırasıyla 12,224 kWsa ve 15,508 kWsa olarak belirlenmiştir. Eşit enerji senaryosuna göre Berlin için 2,3 kW gücünde PV ve 1 adet 1 kW gücünde Bergey BWC XL.1 rüzgar türbininden oluşan sistem, Muğla için ise 2 kW gücünde bir adet PV panel ve 1 adet 1 kW gücünde Bergey BWC XL.1 rüzgar türbininden oluşan sistem optimum sistem olarak belirlenmiştir. Berlin kentinde yıllık elektrik üretiminin %35,8'lik kısmı PV panellerden, %34,49'luk kısmı rüzgar türbininden karşılanırken, Muğla kentinde yıllık elektrik üretiminin %51,29'luk kısmı PV panellerden, %19,86'lık kısmı rüzgar türbininden karşılanmıştır. Her iki kent için müstakil konutların elektrik enerjisinin karşılanması amacıyla hibrit enerji sistemi tasarımlarının uygulanabilir ve yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Mirdalı (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Akdeniz Bölgesi'nde yer alan bir limanın elektrik enerjisinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması amacıyla Homer Pro programı kullanılarak farklı senaryolar oluşturulmuş, elde edilen verilerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Elektrik üretiminde şebeke bağlantılı hibrit enerji sisteminde güneş panelleri ve rüzgar türbinlerinden yararlanılması planlanmış olup, program tarafından belirlenen optimum sistemin 3 MW'lık ve 1,5 MW'lık iki adet

rüzgar türbini, 2425 kW'lık PV sistem, 1062 kW'lık dönüştürücü ve şebekeden oluşacağı belirlenmiştir. Sistemin toplam sermaye maliyeti 7319369,99 $ olarak hesaplanmış olup, şebekeye elektrik satışının 31580063,68 $ değerinde kazanç sağlayabileceği belirlenmiştir. Sistemin toplam net bugünkü maliyeti 21141020 $, kWsa başına ortalama enerji maliyeti 0,082 $ olarak hesaplanmıştır. Yıllık toplam 3710914 kWsa olarak üretilen enerji miktarının %27'sinin PV panellerden, %71,9'unun rüzgar türbinlerinden, %0,984'ünün ise şebekeden elde edilebileceği belirlenmiştir. Tasarlanan enerji sisteminin proje ömrü boyunca 23093460 $ tasarruf sağlayabileceği, sistemin basit geri ödeme süresi 4,84 yıl, indirgenmiş geri ödeme süresi ise 5,1 yıl olarak belirlenmiştir.

Yazıcı (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İstanbul ili için akıllı şebeke sistemi tasarlanarak, rüzgâr, güneş ve jeneratör santrallerinden oluşan sistemin şebeke ve birbirleriyle olan çalışma davranışları Homer Pro programıyla incelenmiştir. Tasarlanan sistem 500 kW gücünde 1 adet güneş enerjisi santrali, 500 kW gücünde 1 adet rüzgâr enerjisi santrali, 1 adet 200 kW gücünde 1 adet doğalgaz jeneratör santralinden ve şebekeden oluşmaktadır. Güneş, rüzgar ve jeneratör santrallerinde toplamda 4232,2 MWsa elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olup, santrallerde üretilen elektriğin 125,39 kWsa enerjiye karşılık gelen %2,9'luk kısmının şebekeye satılabileceği belirlenmiştir. Sistemin elektrik tüketimi ise 7425,3 MWsa olarak gerçekleşmiş olup 3193,1 MWsa'lik kısmın şebekeden sağlanabileceği belirlenmiştir. Yıllık bazda 737890 TL kazanç sağlayan güneş enerji santralinin amortisman süresi 4,48 yıl, 850895 TL kazanç sağlayan rüzgar enerjisi santralinin amortisman süresi 4,38 yıl, 528486 TL kazanç sağlayan jeneratör sisteminin amortisman süresi 2,38 yıl, toplam 8,11 Milyon TL yatırım maliyetine sahip olan hibrit akıllı enerji sisteminin amortisman süresi ise 3,91 yıl olarak hesaplanmıştır.

Al Mehedi ve Iqbal (2020) tarafından yapılan çalışmada bir tekne için HOMER Pro programı kullanılarak 10,6 kW gücünde PV sistem, 1,6 kW gücünde jeneratör ve akü grubunu içeren hibrit bir güç sistemi tasarımı incelenmiştir. Sistemin toplam net bugünkü maliyeti 15653,00 $, seviyelendirilmiş enerji maliyeti 0,228 $/kWsa olarak belirlenmiştir. Sistemin PV, jeneratör, kontrolör ve pil bankası sistemini içeren sermaye bedeli 13358,00 $, yıllık işletme, değiştirme ve kaynak maliyetleri sırasıyla 378,48 $,

19,3 $ ve 169,59 $ olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan sistemden kazanç eldesi 5. işletme yılı sonunda 2349,6 $ değeri ile gerçekleşmekte olup, 10. yılın sonunda sistemden elde edilen kazancın 18057,2 $ değerine ulaşacağı bildirilmektedir.

Adalı ve Yalılı Kılıç (2021) Bursa ili iklim koşullarında bir konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla HOMER Pro programı kullanarak hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarımı gerçekleştirdikleri çalışmada şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak iki farklı durum için enerji simülasyonu oluşturulmuş olup şebekeye bağlı sistemde PV panellerden, şebekeden bağımsız sistemde ise PV panellerle birlikte PV enerjinin depolanacağı batarya ve ek enerji kaynağı olarak dizel jeneratör kullanılacağı öngörülmüştür. Enerji sistemlerinin birim enerji maliyeti şebekeden bağımsız sistemde 3,88 TL, şebekeye bağlı sistemde 0,514 TL olarak hesaplanmış olup, şebekeye bağlı sistemin konut kullanımı için uygun bir enerji yatırımı olduğuna karar verilmiştir. Şebekeden bağımsız sistemin maliyeti 75749,99 TL, şebekeye bağlı sistemin maliyeti 11304,57 TL olarak hesaplanmış, şebeke bağlantısının kurulacak enerji sistemlerinde bakım ve işletme maliyetlerini büyük oranda düşürebileceği belirlenmiştir.

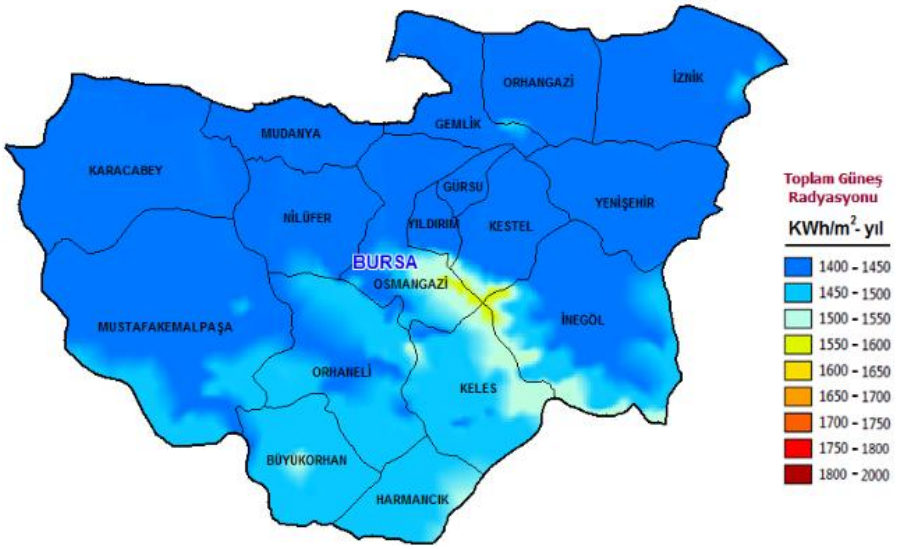
Kırbaş ve Kocakulak (2021) Burdur ilinde yer alan bir meslek yüksekokulu yerleşkesi için güneş panelleri ve rüzgar türbinlerinden oluşan şebekeye bağlı hibrit bir enerji sistemi modellemesi HOMER Pro programı kullanılarak yapılmıştır. Kurulması planlanan sistemin 60-80-100 kW güç değerlerinde bulunması durumları değerlendirilmiştir. 60 kW'lık güçteki hibrit sistemin 40 kW'lık kısmının güneş panelleri ve 20 kW'lık kısmının rüzgâr türbinleri ile kurulmasıyla, şebekeden çekilen enerji miktarının en aza ulaşacağı sonucuna varılmıştır. Bu sistemin amortisman süresi 8,39 yıl, 10. yıl sonunda sağlanan kazanç değeri 193747,1 TL ve 25. yıl sonunda sağlanan kazanç değeri ise 5344485,8 TL olarak hesaplanmıştır. 80 kW'lık güçteki sistemin 50 kW'lık kısmının güneş panelleri ve 30 kW'lık kısmının rüzgâr türbinleri ile kurulmasıyla, şebekeden çekilen enerji miktarının en aza ulaşacağı sonucuna varılmıştır. Bu sistemin amortisman süresi 8,8 yıl, 10. yıl sonunda sağlanan kazanç değeri 168552,1 TL ve 25. yıl sonunda sağlanan kazanç değeri ise 6457366,15 TL olarak hesaplanmıştır. 100 kW'lık güçteki sistemin 50 kW'lık kısmının güneş panelleri ve 50 kW'lık kısmının rüzgâr türbinleri ile kurulmasıyla şebekeden çekilen enerji miktarının en aza ulaşacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sistemin amortisman süresi 9,86 yıl, 10. yıl sonunda sağlanan

kazanç değeri 25944,18 TL ve 25. yıl sonunda sağlanan kazanç değeri ise 6718670 TL olarak belirlenmiştir. Farklı güç değerlerindeki hibrit sistemler arasında kıyaslama yapıldığında alınan enerji miktarındaki azalış nedeniyle en avantajlı sistemin 100 kW gücündeki sistem, amortisman süresinin kısa olması dolayısıyla en avantajlı sistemin 60 kW gücündeki sistem olduğu belirlenmiştir.

Somera ve diğ. (2021) gerçekleştirdikleri çalışmada bir deniz gemisini PV paneller, lityum iyon piller ve dizel jeneratörler ile hibritleştirmenin tekno ekonomik potansiyeli incelenmiştir. HOMER Pro programında dizel ve hibrit enerji sistemleri, gemiye güç sağlarken enerji maliyetlerinin en aza indirgenmesi ve gemide kullanılabilir alanları belirlemek için boyutlandırılmıştır. Hibritleştirilmiş gemi, 2050 kW dizel jeneratör, iki adet 400 kW dizel jeneratör ve 493,5 kWsa Li-ion pil ile güçlendirilmiştir. Hibrit sistemin artan sermaye maliyetlerine rağmen, yakıt tüketimi ve CO_2 emisyon değerlerinin dizel sisteme göre sırasıyla %18,50 ve %27,90 oranında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Hibrit sistemin dizel sisteme göre daha düşük üretim maliyetlerine, %23,64 daha yüksek net bugünkü değere ulaştığı görülmüştür. Geminin güçlendirilme maliyeti 1430900 $ olarak hesaplanmış olup, kârlılık analizinde yatırımın %40'lık bir iç karlılık oranına ve 2,06 yıllık bir geri ödeme periyoduna sahip olduğu belirlenmiştir.
Khalil ve diğ. (2021) Belucistan'ın deniz kıyısı için HOMER Pro programı kullanılarak şebeke bağlantılı rüzgar ve güneş enerji üretim teknolojilerinin yer aldığı hibrit bir enerji sistemi tasarımı yapılmıştır. Önerilen hibrit sistem için net bugünkü değer 180026 $, sadece şebekenin yer aldığı durumda net bugünkü değer 234192 $ olarak hesaplanmıştır. Önerilen hibrit sistemin toplam yıllık üretim ve yüke göre tüketim değerleri sırasıyla 96877 kWsa/yıl ve 60386 kWsa/yıl olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, işletme maliyetinde önemli miktarda düşüş ve kirletici gaz emisyonlarında %64 oranında büyük bir azalma sağlanabileceğini göstermektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, Bursa ili Yıldırım ilçesinde yer alan 150 m^2 arsa alanında 135 m^2 kullanım alanı bulunan iki katlı bir konutun elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla 2021 yılı elektrik tüketim verileri incelenerek küçük ölçekli yenilenebilir enerji sistemlerinin konut kullanımında değerlendirilmesi için HOMER Pro programı kullanılarak hibrit enerji sistemi tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bursa iline ait güneş enerjisi potansiyel atlası incelendiğinde, Yıldırım ilçesinin güneş enerjisi potansiyelinin 1400-1550 kWsa/m^2-yıl arasında olduğu görülmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Bursa iline ait güneş enerjisi potansiyel atlası (URL-1, 2021)

Bursa'nın merkez ilçelerinden biri olan Yıldırım, 2020 yılında 657176'ya ulaşan nüfusu ile Osmangazi ilçesinden sonra nüfus yoğunluğu en yüksek ikinci ilçesidir (URL-2, 2021).

Yüzölçümü 399 km^2, denizden yüksekliği 150-155 m'dir. İlçenin güneyinde Uludağ yükselirken, kuzeyi düzlüktür. İlçede 69 mahalle yer almaktadır. Ekonomik hayatın hareketli olduğu ilçede otomobil ve makine parçaları üretimi, çelik sanayi, mobilya sanayi, makine ve tekstil sanayi gelişmiştir. İlçede yoğun olarak buğday, arpa, yulaf üretilmektedir. Ayrıca fasulye, bakla domates, biber, ayçiçeği, susam, dut, şeftali, kiraz, kestane, ceviz, vb. tarım ürünlerinin üretimi gerçekleştirilmektedir. İlçede küçükbaş ve

büyükbaş hayvancılık, tavukçuluk ve avcılık gelişmiş sektörlerdir. İlçe tarihi ve turistik açıdan önemli bir merkez durumundadır (URL-3, 2021).

Bir mikro şebeke yazılımı olan HOMER Pro, farklı alanlarda kurulması planlanan enerji sistemi tasarımını optimize etmek için kullanılan küresel bir ölçüt olup, ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nda geliştirilmiştir. Yazılım üç güçlü aracı tek bir üründe bir araya getirerek mühendislik ve ekonominin birlikte çalışmasına, çeşitli hibrit enerji sistem modellerinin oluşturularak bu modeller aracılığıyla ilgili coğrafik bölge için en uygun maliyetli hibrit enerji sisteminin elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Güven ve Mete, 2021). Yazılım, bir simülasyon modeli olup, kullanılması planlanan ekipmanların tüm olası kombinasyonları için hibrit bir mikro şebekenin çalışmasını bir dakikadan bir saate kadar değişen zaman dilimlerinde bir yıl boyunca simüle edebilmektedir (Deshmukh ve Singh, 2019).

Mikro şebekeler yeni bir enerji kaynağı ve şebeke yönetim teknolojisidir. Bağımsız şekilde kontrol edilebilen, dağıtılmış üretim ile birlikte güç sağlayan bu elektrik şebekeleri yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye eklenmesine ve var olan enerjinin maksimum kullanımına izin verebilmektedir. Mikro şebekeler, şebekeden bağımsız veya şebeke bağlantılı olarak tasarlanabilmektedir (Kocaman, 2015).

Konut, hastane, kampüs, ticari işletme vb. yapılar kendi enerjisini üretip, üretilen enerjinin dağıtımını sağlayan bir kontrol otomasyon sistemi barındırıyorsa, mikro şebeke olarak değerlendirilmektedir. Mikro şebekeler başlıca 5 ana bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler güç kaynakları, yükler, depolama aygıtları, kontrol sistemleri ve şebeke ortak bağlantı noktasıdır. Mikro şebekelerin merkezi şebekeye az yük olması, ayrıca gerçekleştirdiği elektrik üretimiyle destek olması beklenmektedir. Birçok gelişmiş ülkede yapılarda mikro şebekelerin kurulumu desteklenmektedir. Mikro şebekeler ülkemizde enerji dışa bağımlılığının azaltılması noktasında büyük öneme sahiptir (Şık, 2014).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Dünya genelinde enerjinin üçte biri, elektrik enerjisinin ise üçte ikisi konutlarda tüketilmektedir. Enerji üretiminde kullanılan kaynaklar ise hava ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Sülfür dioksit (SO_2) salınımının %49'unun, nitröz oksit (N_2O) salınımının %25'inin, parçacık salınımının ise %10'unun konutlarda üretildiği belirtilmektedir. CO_2 salınımının %35'lik kısmı direkt veya dolaylı şekilde konutlarda gerçekleşmektedir. Konutlarda meydana gelen bu olumsuz durumları ortadan kaldırmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına başvurulması ve bu kaynakların kullanım oranının arttırılması önem arz etmektedir (Öztürk ve Karadavut, 2019). Konutların elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması noktasında yenilenebilir enerji kaynakları arasında yakıt ihtiyacı gerektirmemesi, çatı ve bina yüzeyleri gibi uygun alanlara kolay kurulum imkanı barındırması dolayısıyla güneş enerjisi teknolojileri önemli kullanım oranına sahiptir. Bu çalışma kapsamında incelenen konutun 2021 yılı elektrik tüketim değerleri Çizelge 4.1'de yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Bu çalışma kapsamında incelenen konutun 2021 yılı elektrik tüketim değerleri

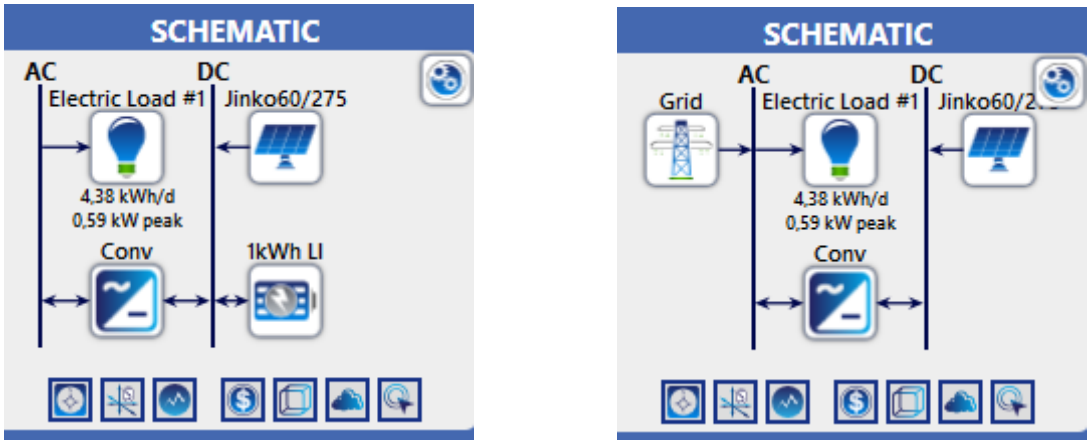
Aylar	**Elektrik Tüketimi (kWsa)**	**Ortalama Elektrik Tüketimi (kWsa/gün)**	**Tutar (TL)**
Ocak	121,253	3,674	93,00
Şubat	122,772	4,385	98,00
Mart	115,378	3,979	91,00
Nisan	135,461	4,105	108,00
Mayıs	114,422	4,087	91,00
Haziran	141,997	4,581	113,00
Temmuz	174,574	6,020	146,00
Ağustos	176,826	5,358	162,00
Eylül	149,050	4,968	136,00
Ekim	118,682	3,709	109,00
Kasım	121,209	4,040	111,00
Aralık	106,496	3,672	97,00
	Toplam= 1598,12	Ortalama= 4,38	Toplam= 1355

Konutun 2021 yılı elektrik tüketim değerleri incelendiğinde en yüksek tüketimin ağustos ayında (176,826 kWsa), en düşük tüketimin ise aralık ayında (106,496 kWsa) gerçekleştiği belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Çalışma bölgesine ait açıklık indeksi ortalama günlük radyasyon ve rüzgar hızı değerleri Çizelge 4.2'de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Çalışma bölgesine ait açıklık indeksi ortalama günlük radyasyon ve rüzgar hızı değerleri (NASA Surface Meteorology and Solar Energy Database)

Aylar	**Açıklık indeksi**	**Günlük radyasyon (kWsa/m^2/gün)**	**Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)**
Ocak	0,397	1,670	5,840
Şubat	0,412	2,310	6,270
Mart	0,459	3,490	5,420
Nisan	0,464	4,460	4,800
Mayıs	0,536	5,910	4,280
Haziran	0,579	6,710	4,270
Temmuz	0,602	6,790	5,070
Ağustos	0,587	5,930	5,200
Eylül	0,567	4,690	4,910
Ekim	0,484	2,990	5,560
Kasım	0,417	1,880	5,500
Aralık	0,367	1,390	5,740

Çalışma kapsamında incelenen konutta hibrit güneş enerji sistemi kurulumu şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak incelenmiştir. Şebekeye bağlı sistemde enerji üretimi için PV panellere, dönüştürücü ve şebeke bağlantısına, şebekeden bağımsız sistemde ise PV panellere, dönüştürücü ve panellerde üretilen enerjinin depolanması amacıyla 1 adet Li-ion bataryaya yer verilmiştir. Her iki sistem için en uygun yenilenebilir fraksiyon oranı duyarlılık analizleri neticesinde %30 olarak belirlenmiştir. Konut için oluşturulan hibrit sistem tasarımları Şekil 4.1'de yer almaktadır.

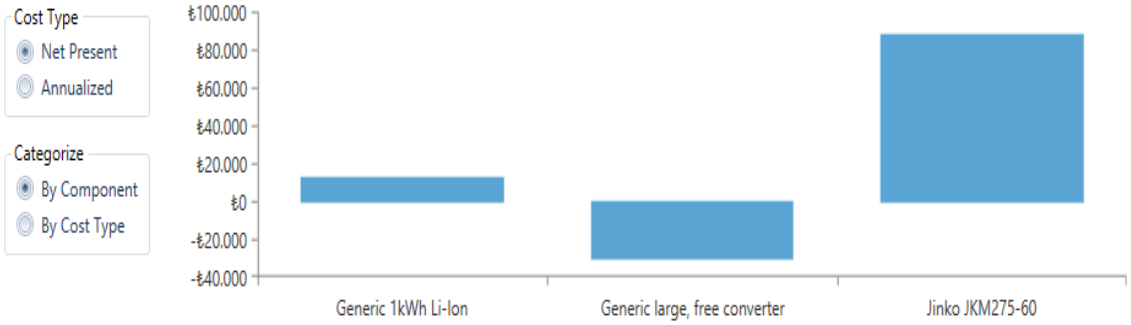


A B

Şekil 4.1. Konut için oluşturulan hibrit sistem tasarımları A) şebekeden bağımsız sistem ve B) şebekeye bağlı sistem

Çizelge 4.3- 4.7'de şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemine ait simülasyon sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemine ait maliyet değerleri



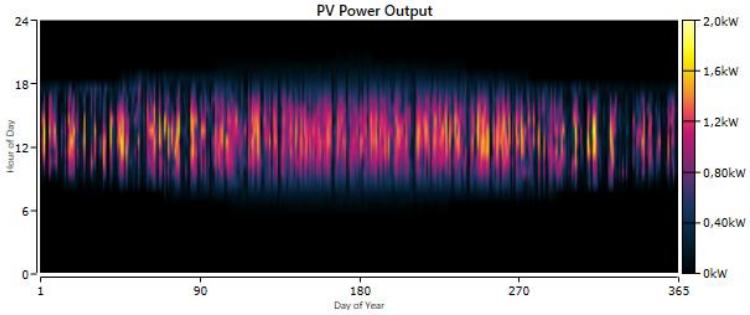
Component	Capital (₺)	Replacement (₺)	O&M (₺)	Fuel (₺)	Salvage (₺)	Total (₺)
Generic 1kWh Li-Ion	₺13.600,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺13.600,00
Generic large, free converter	₺2.481,44	₺35.322,02	₺0,00	₺0,00	-₺69.154,23	-₺31.350,77
Jinko JKM275-60	₺12.000,00	₺0,00	₺77.136,81	₺0,00	₺0,00	₺89.136,81
System	₺28.081,44	₺35.322,02	₺77.136,81	₺0,00	-₺69.154,23	₺71.386,04

Yapılan analizler neticesinde şebekeden bağımsız sisteme ait maliyet değerleri incelendiğinde sistemin net bugünkü maliyeti 71386,04 TL olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.4. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi PV güç çıkışı değerleri

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	1,67	kW
Mean Output	0,264	kW
Mean Output	6,34	kWh/d
Capacity Factor	15,9	%
Total Production	2.315	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1,75	kW
PV Penetration	145	%
Hours of Operation	4.393	hrs/yr
Levelized Cost	0,0756	₺/kWh



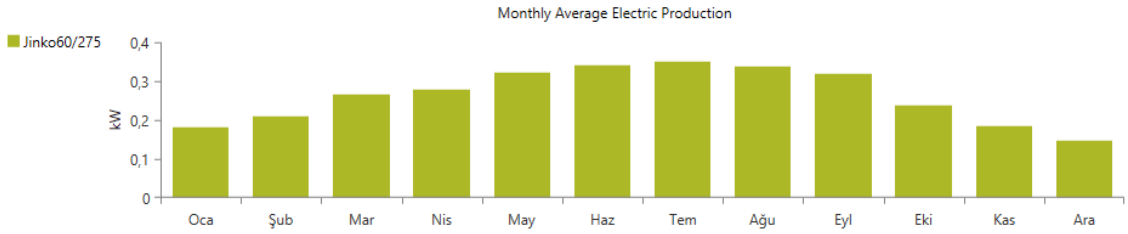
Çizelge 4.5. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi elektrik üretim değerleri

Production	kWh/yr	%
Jinko JKM275-60	2.315	100
Total	2.315	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	1.477	100
DC Primary Load	0	0
Total	1.477	100

Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	701	30,3
Unmet Electric Load	122	7,63
Capacity Shortage	160	10,0

Quantity	Value
Renewable Fraction	100
Max. Renew. Penetration	1.242

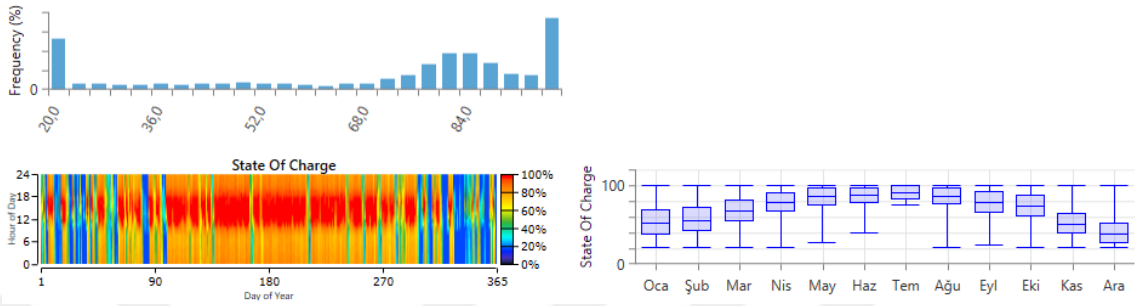


Çizelge 4.6. Hibrit enerji sisteminde yer alan Li-ion bataryaya ait sayısal değerler

Quantity	Value	Units
Batteries	8,00	qty.
String Size	1,00	batteries
Strings in Parallel	8,00	strings
Bus Voltage	6,00	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	35,1	hr
Storage Wear Cost	0,597	₺/kWh
Nominal Capacity	8,00	kWh
Usable Nominal Capacity	6,40	kWh
Lifetime Throughput	15.597	kWh
Expected Life	25,0	yr

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	₺/kWh
Energy In	651	kWh/yr
Energy Out	592	kWh/yr
Storage Depletion	6,40	kWh/yr
Losses	65,4	kWh/yr
Annual Throughput	624	kWh/yr



Çizelge 4.7. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminde emisyon değerleri

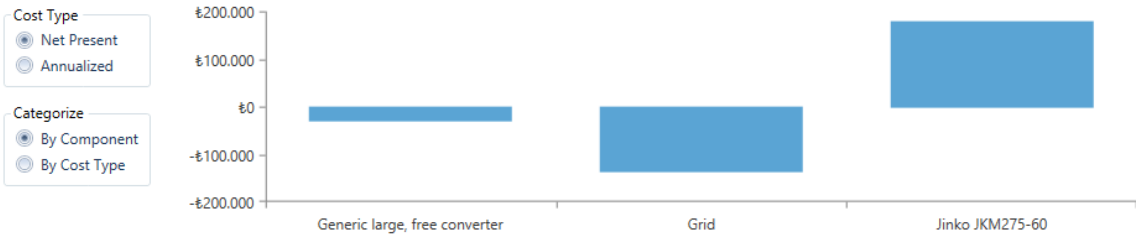
Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	0	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

Şebekeden bağımsız olarak oluşturulan hibrit sistemin emisyon oluşumuna sebep olmadığı belirlenmiş olup, bu sistemin çevre sağlığı açısından olumlu katkılar sunduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

Oluşturulan hibrit sistemler için yapılan ekonomik maliyet analizinde yıllık enflasyon oranı %36,08 (TÜİK, 2022), nominal faiz oranı %14 (TCMB, 2022) olarak alınmıştır. Şebekeden bağımsız sisteme ait maliyet analizi incelendiğinde sistemin toplam net bugünkü maliyeti 71386,04 TL, işletme maliyeti 85,06 TL, kWsa başına elektrik birim maliyeti 0,094 TL olarak hesaplanmıştır.

Şebekeye bağlı olarak tasarlanan hibrit sisteme ait simülasyon sonuçları Çizelge 4.8-4.12'de yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemine ait maliyet değerleri



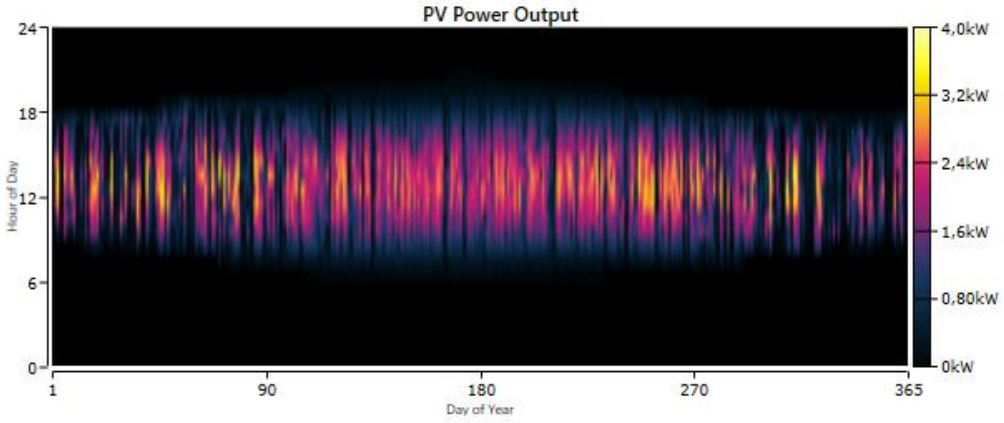
Component	Capital (₺)	Replacement (₺)	O&M (₺)	Fuel (₺)	Salvage (₺)	Total (₺)
Generic large, free converter	₺2.481,44	₺35.322,02	₺0,00	₺0,00	-₺69.154,23	-₺31.350,77
Grid	₺0,00	₺0,00	-₺137.743,62	₺0,00	₺0,00	-₺137.743,62
Jinko JKM275-60	₺24.562,50	₺0,00	₺157.889,40	₺0,00	₺0,00	₺182.451,90
System	₺27.043,94	₺35.322,02	₺20.145,78	₺0,00	-₺69.154,23	₺13.357,51

Yapılan analizler neticesinde şebekeye bağlı sistemin maliyet değerleri incelendiğinde sistemin net bugünkü değeri 13357,51 TL olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.9. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi PV güç çıkışı değerleri

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	3,41	kW
Mean Output	0,541	kW
Mean Output	13,0	kWh/d
Capacity Factor	15,9	%
Total Production	4.739	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	3,59	kW
PV Penetration	296	%
Hours of Operation	4.393	hrs/yr
Levelized Cost	0,0756	₺/kWh



Çizelge 4.9 incelendiğinde PV panellerden üretilecek enerjinin birim maliyetinin 0,0756 TL/kWsa değerinde olduğu görülmektedir.

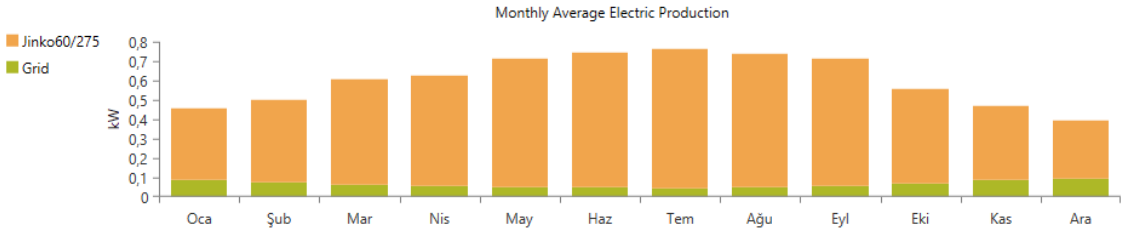
Çizelge 4.10. Şebekeye bağlı hibrit enerji sistemine ait elektrik üretim değerleri

Production	kWh/yr	%
Jinko JKM275-60	4.739	89,2
Grid Purchases	575	10,8
Total	5.314	100

Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	1.599	45,9
DC Primary Load	0	0
Grid Sales	1.883	54,1
Total	3.482	100

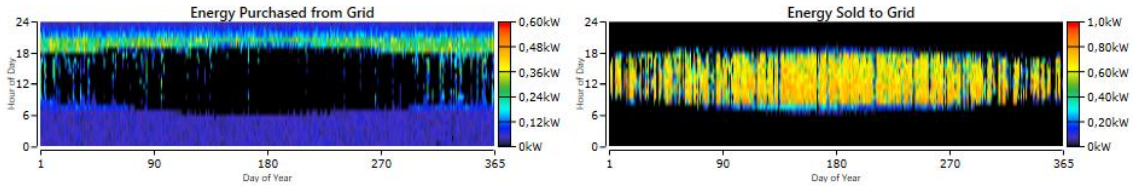
Quantity	kWh/yr	%
Excess Electricity	1.679	31,6
Unmet Electric Load	0	0
Capacity Shortage	0	0

Quantity	Value
Renewable Fraction	83,5
Max. Renew. Penetration	359



Çizelge 4.11. Şebekeden aylık enerji alım-satım değerleri

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge (₺)	Demand Charge (₺)
May	37	203	-165	0	-₺44,14	₺0
June	34	208	-174	0	-₺47,72	₺0
July	33	221	-188	0	-₺52,73	₺0
August	38	200	-162	0	-₺42,90	₺0
September	42	177	-135	0	-₺32,62	₺0
October	51	154	-103	0	-₺19,84	₺0
November	62	103	-41	1	₺4,06	₺0
December	70	86	-16	0	₺14,53	₺0
Annual	575	1.883	-1.308	1	-₺270,56	₺0



Maliyet değerlerinin negatif değer alması sistemin üreticiye kazanç sağlayacağı anlamına gelmektedir (Mirdalı, 2018). Şebekeden elektrik alım-satım değerleri incelendiğinde şebekeye elektrik satımının alım miktarından fazla olduğu, böylelikle yıllık elektrik masrafının sıfırlandığı ve elektrik satışından üreticinin yıllık olarak 270,56 TL gelir sağlayabileceği belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.12. Şebekeye bağlı sistemde üretilen emisyon değerleri

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	363	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	1,58	kg/yr
Nitrogen Oxides	0,770	kg/yr

Şebekeye bağlı sistemde üretilen emisyon değerleri incelendiğinde en yüksek emisyonun 363 kg/yıl değeriyle CO_2'den kaynaklandığı belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Şebekeden bağımsız sistem şebekeye bağlı sistemle kıyaslandığında daha çevre dostu olmasına rağmen ekonomik uygulanabilirlik açısından şebekeye bağlı sistemin birçok üstünlüğünün bulunduğu görülmektedir.

Şebeke elektriğinin birim fiyatı Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun 9954 numaralı kurul kararı ile yayınlanan 1 Ocak 2021 tarihinden itibaren uygulanacak nihai tarife tablosundan alınmıştır. Elektrik tarifesi tek zamanlı, tek terimli, mesken tüketici olarak belirlenmiştir. Şebekeye satılan elektrik enerjisinin birim fiyatı ise nihai tarife tablosunun üreticiler için veriş yönünde tek terimli dağıtım tarifesinden reaktif enerji bedelinden dağıtım bedeli çıkarılarak belirlenmiştir (Kayıkcı, 2020). Şebekeye bağlı hibrit sistemde şebekeden alınan elektriğin birim enerji maliyeti 0,61 TL/kWsa; şebekeye satılan elektriğin birim enerji maliyeti 0,33 TL/kWsa olarak programa tanıtılmıştır (EPDK, 2022). Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemin maliyet karşılaştırması Çizelge 4.13'te yer almaktadır.

Çizelge 4.13. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemin maliyet karşılaştırması

Maliyet Bileşeni	**Şebekeye Bağlı (TL)**	**Şebekeden Bağımsız (TL)**
Net Bugünkü Değer	13357,51	71386,04
İşletme Maliyeti	-26,88	85,06
Birim Enerji Maliyeti	0,0075	0,094

Bu çalışmaya benzer olarak Çağlayan (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Afyonkarahisar'da bir sera işletmesinin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı PV, rüzgar ve jeneratör sistemlerinden oluşan hibrit enerji sistem tasarımları HOMER Pro programı kullanılarak incelenmiştir. Şebeke bağlantılı sistemlerde şebekeyle birlikte rüzgâr türbini, PV ve iki sistemin de yer aldığı enerji sistem modellemesi, şebeke bağlantısı olmayan sistemlerde ise rüzgar, PV, PV+ rüzgar ve jeneratör sistemlerinin ayrı olarak modellemesi yapılmıştır. Yük verilerinden yola çıkılarak günlük elektrik tüketiminin 369,52 kWsa, en yüksek güç talebinin ise 52,59 kW olduğu belirlenmiştir. İncelenen işletme için PV sistemin, jeneratör sistemiyle birlikte enerji maliyeti en yüksek sistemler olduğu görülmüştür. Şebeke bağlantısına sahip olan en uygun sistemde enflasyon oranının %18,49 olduğu durumda iskonto edilmiş geri ödeme süresinin rüzgar enerji sistemleri için 11,81 yıl, enflasyon değerinin %10 olduğu durumda ise 9,08 yıl olacağı hesaplanmıştır. Şebeke bağlantısız sistemler arasında en ekonomik olan sistemlerin PV+rüzgar ve rüzgar enerji sistemlerinde sırasıyla 0,098 $/kWsa ve 0,100 $/kWsa olduğu belirlenmiştir. PV+rüzgar enerji sisteminin amortisman süresi 9,03 yıl, rüzgar enerji sisteminin amortisman süresi 8,86 yıl olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız sistemlerin her ikisinde de rüzgâr enerji sisteminin daha ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Adan (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Eskişehir Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün elektrik ihtiyacını karşılamak için HOMER Pro programı kullanılarak şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı, teknik ve ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır. PV panel, rüzgar türbini, jeneratör ve şebeke enerji tasarımlarında kullanılacak kaynaklar olarak belirlenmiştir. Sistem tasarımlarında PV+rüzgar+ jeneratör, PV+jeneratör+akü, rüzgar+jeneratör+akü, PV+rüzgar+şebeke, PV+şebeke ve rüzgar+şebeke kombinasyonları ele alınmıştır. Tasarlanan en uygun sistemin 198 kW'lık PV panel ve şebeke bağlantısından oluşan hibrit sistem olduğu belirlenmiştir. Sistemin toplam net bugünkü maliyeti 1,68 milyon $ ve birim enerji maliyeti 0,176 $/kWsa olarak hesaplanmış olup, düşük yenilenebilir fraksiyonu dolayısıyla şebekeden

bağımsız sistemle karşılaştırıldığında daha fazla çevresel etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Nyeche ve Diemuodeke (2020) gerçekleştirdikleri çalışmada Nijerya'nın tipik bir kıyı şeridi topluluğu olan Patani'nin enerji talebini karşılamak amacıyla güneş, rüzgar ve hidro bazlı enerji depolama sistemlerini içeren hibrit enerji tasarımı yapılmıştır. Enerji talebini karşılamak için gereken PV ve rüzgar türbininin en yüksek anma gücü sırasıyla 217 kWp ve 226050 kW olarak belirlenmiştir. Pompaj depolamalı hidro enerji sisteminin minimum depolama kapasitesi, 43170,06 m^3 üst rezervuar hacmi ile yaklaşık 3930615 kWsa olarak tahmin edilmiştir. Önerilen hibrit sistemin toplumun tüm enerji talebini eşit oranda karşılayabilme potansiyelinde olduğu, sistemin güvenilirliğinin pompaj depolamalı hidro enerji sisteminin kullanılmasıyla arttırıldığı belirlenmiştir. Sistemin maliyet optimizasyonu için HOMER Pro programı kullanılmış olup, sistemin birim enerji maliyeti 0,27 $/kWsa olarak hesaplanmıştır. Enerji sisteminin yük kaybı olasılığı 0,1086 olarak tahmin edilmiştir.

5. SONUÇ

Günümüzde küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel felaketlerle birlikte dünya genelinde oluşan çevresel bilinç, ülkeleri enerji üretiminde çevresel ve ekonomik etkileri yüksek olan fosil tabanlı geleneksel enerji kaynaklarının yerine yerli, ekonomik ve çevre dostu olarak nitelendirilen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yöneltmektedir.

Bu çalışmada, Bursa ilinde yer alan bir konutun elektrik enerjisinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması amacıyla şebekeden bağımsız PV+Batarya ve şebekeye bağlı PV sistemden oluşan hibrit güneş enerjisi tasarımları gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde şebekeye bağlı sistemin incelenen konut için kurulabilecek en uygun sistem olduğu, şebekeye bağlı sistemle elektrik masraflarının sıfırlanarak şebekeye enerji satışının gerçekleştirilebileceği ve sistemin amortisman süresinin 8,2 yıl olduğu belirlenmiştir.

Güneş enerji sistemleri uzun ömürleri, farklı meteorolojik koşullar altında enerji üretimini sağlayabilmeleri, bakım ve işletme masraflarının düşüklüğü, yerli ve milli kaynak olma özellikleri nedeniyle tüm dünyada önemli bir kullanım alanı bulmakta olup kullanım oranındaki artış günden güne devam etmektedir. Günümüzde geleneksel enerji kaynakları olan fosil yakıtların fiyatlarındaki dalgalanmalar nedeniyle oluşan güvensiz piyasa ortamının ülkeler üzerinde oluşturacağı ekonomik baskının azaltılması amacıyla başta güneş enerjisi olmak üzere diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması enerji kullanımının çevresel ve ekonomik etkilerinin azaltılması bakımından büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

Adalı, S. ve Yalılı Kılıç, M. (2021). Evsel elektrik ihtiyacının hibrit yenilenebilir enerji sistemleriyle karşılanması: Bursa örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10*(2), 520-526. doi: 10.28948/ngmuh.943002

Adan, H.K. (2020). *Technical and economic evaluation of a standalone and grid connected hybrid renewable energy system: Case study at Eskişehir Technical University* (Master Thesis). Erişim adresi: https://gcris.eskisehir.edu.tr/handle/20.500.13087/39

Adıyaman, Ç. (2012). *Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: http://acikerisim.ohu.edu.tr/xmlui/handle/11480/431

Akgün, A. (2006). *Mikrodenetleyici tabanlı güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim sisteminin tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanından erişildi (Tez No. 180051).

Akusta, E. ve Cergibozan, R. (2020). Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyümenin çevre üzerinde etkisi: Türkiye örneği. *Öneri Dergisi, 15*(54), 429-461. doi:10.14783/maruoneri.771658

Al Mehedi, M. A. A. ve Iqbal, M. T. (2020, November). *Optimal sizing of a hybrid power system for driving a passenger boat in Bangladesh.* IEEE Electric Power and Energy Conference (EPEC), p.1-6. Canada.

Alpdoğan, E.İ. (2009). *Dalga enerjisi ile elektrik üretiminin teknik ve ekonomik incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/10391

Anonim, 2022. Güneş Panelleri Nasıl Çalışır? Erişim adresi: http://www.kocsanenerji.com/tr/faydali_bilgiler-15/gunes_panelleri_nasil_calisir_-66.html Erişim tarihi: 3.01.2022

Atalay, Ö., Yorgun, B. ve Erdem, R. (2019, Kasım). *Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemleri ve çatı uygulamaları*. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin.

Aydın, İ. (2013). Balikesir'de rüzgâr enerjisi. *Doğu Coğrafya Dergisi, 18*(29), 29-50. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/ataunidcd/issue/2457/31305

Bayraç, H. N. (2009). Küresel enerji politikalari ve Türkiye: Petrol ve doğal gaz kaynakları açısından bir karşılaştırma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 10*(1), 115-142. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/113215

Bayramoğlu, T. (2014). *Biyokütle enerjisi ve yerel ekonomik kalkınma*. Ankara: İmaj Yayınevi.

Bekar, N. (2020). Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye'nin enerji jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi, 3*(1), 37-54. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/tsbder/issue/53350/709200

Bilgili, M., Şahin, B., ve Şimşek, E. (2010). Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, *30*(1), 1-12. Erişim adresi: http://tibtd.org.tr/2010-1/1-12.pdf

Bozkurt, A.U. (2008). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://acikerisim.deu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12397/11318

Ceylan, M. (2018). *Kampüs binalarında şebekeden bağımsız bir çatı üstü fotovoltaik sistem tasarımı ve benzetimi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/17974

Çağlayan, N. (2019). Bir sera işletmesi için şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız rüzgâr, fotovoltaik ve jeneratör sistemlerinin teknik ve ekonomik değerlendirmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences, 32*(2), 175-184. doi: 10.29136/mediterranean.539589

Çelikdemir, S. ve Özdemir, M. T. (2020). Adilcevaz Bölgesi'nde rüzgâr enerji potansiyelinin incelenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 9*(1), 204-214. doi: 10.17798/bitlisfen.526670

Dal, A. R. ve Yılmaz, F. (2020). Ticari bir yat limanının elektrik ihtiyacının fotovoltaik (PV) teknoloji ile karşılanmasına yönelik bir inceleme. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25*(3), 1189-1204. doi: 10.17482/uumfd.757392

Demir, N. ve Baş, P. (2020). Avrupa Birliği'nin enerji sorunsalında yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri ve geleceği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *7*(3), 806-831. doi: 10.30798/makuiibf.793130

Deshmukh, M. K. ve Singh, A. B. (2019). Modeling of energy performance of stand-alone SPV system using HOMER pro. *Energy Procedia, 156*, 90-94. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.100

Elibüyük, U. ve Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri. *Yekarum e-Dergi, 2*(3), 1-14. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/yekarum/issue/21891/235308

Erdoğan, N. (2020). *Türkiye'de yenilenebilir enerjiye yönelik teşvikler ile yenilenebilir enerji üretimi arasındaki etkileşim ve finansal yansımaları* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://acikerisim.cumhuriyet.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12418/12143

Ergün, E. (2011). *Tekstil işletmelerinin enerji temininde doğrusal Fresnel güneş güç sistemlerinin kullanılması* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanından erişildi (Tez No. 295161).

Genç, M. (2019, Kasım). *Güneş paneli taşıyıcı sistemlerinde sık karşılaşılan problemler.* 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin.

Güler, T. (2018). *Termal turizmde devre mülk yatırımlarının gayrimenkul geliştirme ve yönetimi açısından incelenmesi: Beypazarı ilçesi örneği* (Dönem Projesi). Erişim adresi: https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/74324

Gülkokan, O. 2017. *Farklı coğrafyalarda bulunan aynı büyüklükteki müstakil konutların elektrik enerjisi ihtiyacının fotovoltaik-rüzgar hibrit enerji sistemlerinden karşılanması için yapılan tasarım ve optimizasyon çalışması* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanından erişildi (Tez No. 453560).

Güllü, M, ve Kartal, Z. (2021). Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının 2030 yılına kadar tahmini. *19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi, 2*(2), 288-313. doi: 10.52835/19maysbd.849978

Gündüz, N. K. (2021). *Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının ve Teşviklerinin Ülke Gruplarına Göre Karşılaştırılması* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.

Günerhan, H. ve Arslan, F. M. (2019, Kasım). *Seramik soğurucu yüzeyli sıvılı düzlemsel güneş kolektörleri*. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin.

Güneşli, H. Ö. (2019). *Nükleer santralin Türkiye ekonomisi açısından fayda ve maliyetleri* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/248437

Güven, A. F. (2016, Ekim). *Afyon Oruçoğlu termal otelinin enerji ihtiyacını karşılayacak güneş enerji sisteminin tasarlanması, optimizasyonu ve maliyet analizi*. Uluslararası Sosyal Bilimler ve Eğitimde Stratejik Araştırma Konferansı (ICoSReSSE), s. 1-18, Antalya.

Güven, A. F. ve Mete, M. K. (2021). Balıkesir ili Erdek ilçesi için bağımsız hibrit enerji sisteminin fizibilite çalışması ve ekonomik analizi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9*(4), 1063-1076. doi: 10.36306/konjes.978002

IRENA (2019). "Future of Wind: Deployment, İnvestment, Technology, Grid İntegration and Socio-Economic Aspects", A Global Energy Transformation Paper. https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf Erişim Tarihi: 3.01.2022

İnançlı, S. ve Akı, A. (2020). Türkiye'nin enerji ithalatı ve yenilenebilir enerji arasındaki ilişkinin ampirik olarak incelenmesi. *Econder International Academic Journal, 4*(2), 551-565. doi: 10.35342/econder.849015

İnce, İ. T. (2021). Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde örnek uygulamalar. *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi, 1*(1), 1-10. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/dyad/issue/65949/1029484

İzgi, E. ve Özcan, Ö. (2020). Şebekeye bağlı fotovoltaik çatı sisteminin karşılaştırmalı performans analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23*(3), 127-140. Erişim adresi: http://jes.ksu.edu.tr/en/download/article-file/1069337

Kan Kaynar, N. (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin Amasya ilindeki potansiyeli. *Bilge International Journal of Science and Technology Research, 4*(2), 48-54. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/bilgesci/issue/56891/711112

Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Biyokütle enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi, 30,* 97-125. doi: 10.14781/MCD.2014308146

Karademir, C. (2020). *Cari Açık-Enerji İthalatı İlişkisi ve Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.

Karamıklı, A. ve Şaşmaz, M. A. (2021). Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketiminin ekonomik büyüme ve sağlık harcamaları üzerindeki etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 46,* 293-304. doi:10.30794/pausbed.846221

Kaya, H. (2020). Yenilenebilir enerji istihdamında küresel durumun değerlendirilmesi. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, Sonbahar Özel Sayı I/II,* 10-21. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/gopsbad/issue/57502/741283

Kayıkcı, B. (2020). *Aydın ili Didim ilçesindeki kırsal bölgede yer alan bir konutun elektrik ihtiyacının hibrit güneş-rüzgar enerji sistemi ile karşılanmasının analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/410373

Khalil, L., Bhatti, K. L., Awan, M. A. I., Riaz, M., Khalil, K. ve Alwaz, N. (2021). Optimization and designing of hybrid power system using HOMER pro. *Materials Today: Proceedings, 47,* 110-115. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.054

Kırbaş, İ. ve Kocakulak, T. (2021). Hibrit sistemler ile enerji üretimi: MAKU-TBMYO örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12*(1), 127-135. https://doi.org/10.29048/makufebed.889146

Kocaman, B. (2015). *Yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekelerde enerji yönetimi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: http://dspace.kocaeli.edu.tr:8080/xmlui/handle/11493/859

Koç, Ü. (2021). Güneş enerjisi ve ekonomik büyüme. *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi, 6*(2), 515-533. doi: 10.30784/epfad.890910

Konat, G. (2021). Yeni sanayileşmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji tüketimi durağan mı? RALS-LM testinden kanıtlar. *Ekonomi, İşletme ve Maliye Araştırmaları Dergisi, 3*(2), 180-192. doi: 10.38009/ekimad.962042

Konyalı, İ. (2019). *Türkiye için mevcut enerji üretimine alternatif yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının seçimi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/handle/11655/8966

Köle, S. ve Cural, M. (2019, Nisan). *Yenilenebilir enerji piyasasında kamu müdahalesinin gerekliliği*. International Congress of Energy, Economy and Security, p. 312-334, İstanbul.

Mirdalı, M. (2018). *Limanlar için bütünleşik yenilenebilir enerji güç sistemlerinin tekno-ekonomik analizi* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 541837).

Nyeche, E.N. ve Diemuodeke, E.O. (2020). Modelling and optimisation of a hybrid PV-wind turbine-pumped hydro storage energy system for mini-grid application in coastline communities. *Journal of Cleaner Production, 250,* 1-12. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119578

Oral, F. (2020). Bitlis ilinin rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel analizi. *DÜMF Mühendislik Dergisi, 11*(2), 671-678. doi: 10.24012/dumf.655780

Orun, A.F. ve Demirgil, B. (2021). Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımlarına yönelik teşvikler ve yenilenebilir enerjinin ekonomik etkileri. *International Journal of Economic and Administrative Academic Research, 1*(2), 90-112. Erişim adresi: https://www.ijerdergisi.com/index.php/ijer/article/view/9

Öcal, L. (2020). *Nükleer Enerji Politikalarının Yerel Düzeyde Taşınmaz Değerleri Üzerine Etkileri: Nükleer Santrallerin Akkuyu ve Sinop Bölgelerindeki Etkileri Üzerine Bir İnceleme* (Doktora Tezi). Erişim adresi: https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/73525

Özdemir, F. ve Güngör, A. (2019, Kasım). *Isı borulu güneş enerjisi sistemleri ve uygulamaları*. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin.

Özen, A., Şaşmaz, M. Ü. ve Bahtiyar, E. (2015). Türkiye'de yeşil ekonomi açısından yenilenebilir bir enerji kaynağı: Rüzgar enerjisi. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 17*(28), 85-93. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/107115

Öztürk, H. K. ve Karadavut, A. (2019, Kasım). *Tam hücreli fotovoltaik modüllerin matematiksel modellenmesi*. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin.

Sağır, H. İ. (2021). *Türkiye'de enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri* (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Konya.

Sağlam, M. ve Uyar, T.S. (2005). Dalga enerjisi ve Türkiye'nin dalga enerjisi teknik potansiyeli. Erişim Adresi: http://www.emo.org.tr/ekler/20bb2d9a50d5ac1_ek.pdf

Salmanoğlu, F. (2009). *Rüzgar – fotovoltaik otonom hibrid güç sistemlerinin algoritmik bir yaklaşımla optimal tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi). YÖK YÖK Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanından erişildi (Tez No. 256643).

Sarıtunalı, H. N. (2021). Çevresel güvenlik ve enerji arz güvenliği bağlamında Türkiye'nin enerji politikası. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi, 4*(2), 409-421. doi: 10.33712/mana.913406

Sertkaya, B. ve Baş, S. (2020, Aralık). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi: Türkiye ve Azerbaycan'ın dış ticaret yapısına yönelik karşılaştırmalı bir analiz.* EUROASIA SUMMIT Congress on Scientific Researches and Recent Trends-7. Baku Eurasian University, Azerbaijan.

Seyitoğlu, S. S. ve Avcıoğlu, E. (2021). Çorum ilinin hayvansal atıklardan üretilebilir biyogaz potansiyelinin incelenmesi. *Gazi University Journal of Science Part C, 9*(2), 246-261. doi: 10.29109/gujsc.889846

Sinan, B. (2021). Türkiye'de YEKDEM ile döviz kuru, elektrik tüketimi arasındaki ilişki (2012.1-2020.2). *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6*(2), 191-207. doi: 10.29106/fesa.829643

Somera, J. D. C., Parado, S. P. E., Castro, M. T. ve Ocon, J. D. (2021). Techno-economics of hybrid system electrification of roll-on/roll-off vessels in the Philippines. *Chemical Engineering Transactions, 88,* 559-564. doi: 10.3303/CET2188093

Şahintürk, G.Y. (2014). *Sosyo-bilimsel tartışma destekli fen etkinliklerinin 8. Sınıf öğrencilerinin yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili farkındalıkları ve içerik bilgisi gelişimine etkisinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/474967

Şık, M. (2014). *Akıllı şebeke uygulamalarına yönelik küçük ölçekli bir şebeke prototipinin geliştirilmesi ve kontrolü* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/688006

Tanriöver, M. (2020). *Yenilenebilir enerjinin Türkiye ekonomisine yansımaları* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/203815

T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2022). Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları. Erişim Adresi: https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari Erişim Tarihi: 20.01.2022

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021a). Güneş. Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes Erişim Tarihi: 30.12.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021b). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. Erişim Adresi: https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/ Erişim Tarihi: 30.12.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021c). Rüzgar. Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar Erişim Tarihi: 30.12.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021d). Biyokütle. Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle Erişim Tarihi: 28.12.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021e). Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle Erişim Tarihi: 30.12.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021f). Jeotermal. Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-jeotermal Erişim Tarihi: 28.12.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021g). Jeotermal. Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal Erişim Tarihi: 30.12.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2021h). Hidrolik. Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik Erişim Tarihi: 28.12.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022a). Güneş. Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes Erişim tarihi: 2.01.2021

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022b). 2020 yılı ulusal enerji denge tablosu. Erişim Adresi: https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari Erişim Tarihi: 2.01.2022

TCMB. (2022). Faiz oranlarına ilişkin basın duyurusu. Sayı: 2021-59. Erişim Adresi: https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Duyurular/Basin/2021/DUY2021-59 Erişim Tarihi: 7.01.2022

TEİAŞ. (2020). Kurulu Güç Raporu, Aralık 2020. Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı.

TEİAŞ. (2021). Kurulu Güç Raporu, Kasım 2021. Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı.

TEİAŞ. (2022). Kurulu Güç Raporu, Aralık 2021. Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı.

TÜİK. (2022). Tüketici Fiyat Endeksi, Aralık 2021. Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Tuketici-Fiyat-Endeksi-Aralik-2021-45789 Erişim Tarihi: 7.01.2022

URL-1. (2021). Bursa Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). Erişim Adresi: https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/16.aspx Erişim Tarihi: 6.10.2021

URL-2. (2021). Bursa nüfusu. Erişim Adresi: https://www.nufusu.com/il/bursa-nufusu Erişim Tarihi: 6.10.2021

URL-3. (2021). Yıldırım ilçesi. Erişim Adresi: https://www.yildirim.bel.tr/yildirim-detay/YILDIRIM-HAKKINDA/4 Erişim Tarihi: 6.10.2021

Ünlü, D. (2019, Nisan). *Fosil yakıtlara çevre dostu yenilenebilir bir alternatif: "Biyoyakıtlar"*. International Congress of Energy, Economy and Security, 30-39. İstanbul.

Yakşi, B. 2018. *Bursa ili kıyı şeridi rüzgar enerjisi potansiyel analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: http://acikerisim.btu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12885/199

Yazıcı, F. (2019). *İstanbul ili için önerilen akıllı şebekenin modellenmesi ve benzetimi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/414747

Yıldırım, D., Askan, K., İlhan, E. ve Kılıç, B. (2019, Kasım). *Güneş enerjisi ile çalışan bir su üstü teknesi elektrik sistemi*. 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin.

Yıldırım, U. ve Kaya, M. V. (2021). Seçilmiş OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketiminin makro ekonomik belirleyicileri. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi, 11*(1), 267-289. doi: 10.18074/ckuiibfd.845859

Yıldız, Ö. F., Yılmaz, M., Çelik, A. ve İmik, E. (2020). Havalimanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması. *Journal of Aviation, 4*(1), 162-174. doi: 10.30518/jav.695210

Yılmaz, T. (2021). Yenilenebilir enerji tüketimi finansal gelişme ilişkisi: Gelişmiş ülkeler üzerine bir araştırma. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8*(2), 1064-1081. doi: 10.30798/makuiibf.909970

Yiğit, A. ve Arslanoğlu, N. (2021). Parabolik oluk tipi güneş kollektörlerinin ısıl analizi ve parametrik incelenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 26*(3), 777-786. doi: 10.17482/uumfd.824560

Zomer, C. D., Costa, M. R., Nobre, A. ve Rüther, R. (2013). Performance compromises of building-integrated and building-applied photovoltaics (BIPV and BAPV) in Brazilian airports. *Energy and buildings, 66,* 607-615. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.076