

## Şebeke Bağlantılı Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin Homer ile Ekonomik ve Çevresel Analizi: İzmir Endüstriyel Bölgesi Örneği

Güler YILMAZ<sup>1</sup>, Mertkan ŞAHİN<sup>2</sup>, Ömür AKYAZI<sup>3\*</sup>, Barış ÖZTÜRK<sup>4</sup>

### Öz

Bu çalışma kapsamında İzmir ilinde bulunan endüstriyel bölgenin elektrik ihtiyacının karşılanması için şebeke bağlantılı hibrit enerji sistemi tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımla, seçilen endüstriyel bölgenin enerji talebinin karşılanması, birim elektrik maliyetinin minimize edilmesi ve elektrik üretiminden kaynaklanan karbon emisyonunun azaltılması amaçlanmıştır. Bölgenin meteorolojik verileri incelendiğinde yıllık güneş radyasyon miktarı ve rüzgâr hızının yenilenebilir enerji santralleri kurulumu açısından yeterli olduğu görülmüştür. Çalışmada enerji potansiyeli yüksek olan İzmir ilinde şebeke bağlantılı ve yenilenebilir enerji sistemlerinden oluşan beş farklı senaryo tasarlanmıştır. Senaryoların oluşturduğu santrallerde kullanılan bileşenler; güneş paneli, rüzgâr türbini, dönüştürücü ve bataryadan oluşmaktadır. HOMER yazılımı kullanılarak alınan simülasyon sonuçlarında birim enerji maliyeti, net şimdiki maliyeti, başlangıç maliyeti ve yıllık emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Özellikle yıllık emisyon değeri ve birim elektrik maliyet kriterleri göz önüne alındığında en verimli sistemin bataryalı hibrit enerji sistem tasarımı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sistem tasarımı birim elektrik maliyeti 0,0730 \$ seviyesine düşürülmüş ve elektrik tüketiminden kaynaklanan yıllık emisyon değerleri %82 azaltılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** HOMER, Hibrit Enerji Sistemi, Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Batarya Sistemleri, Emisyon.

## Economic And Environmental Analysis of Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System with Homer: Case of İzmir Industrial Region

### Abstract

Within the scope of this study, a grid-connected hybrid energy system was designed to meet the electricity needs of the industrial region in İzmir. The design aims to meet the energy demand of the selected industrial region, minimize the unit electricity cost, and reduce the carbon emissions caused by electricity production. Upon examination of meteorological data from the region, it was found that the annual amount of solar radiation and wind speed is sufficient for the establishment of renewable energy power plants. In this study, five different scenarios consisting of grid-connected and renewable energy systems were designed for İzmir, a region with high energy potential. The power plants created by these scenarios consist of solar panels, wind turbines, converters, and batteries. Simulation results obtained using HOMER software compared unit energy cost (COE), net present cost (NPC), initial cost, and annual emission values. The most efficient system was found to be the battery-powered hybrid energy system design, especially when considering annual emission value and unit electricity cost criteria. In this system design, the unit electricity cost was reduced to \$0.0730 and annual emission values from electricity consumption were reduced by 82%.

**Keywords:** HOMER, Hybrid Energy System, Solar Energy, Wind Energy, Battery Systems, Emission.

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, 385893@ogr.ktu.edu.tr

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, 385894@ogr.ktu.edu.tr

<sup>3</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, oakyazi@ktu.edu.tr

<sup>4</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye, 397184@ogr.ktu.edu.tr

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0002-7077-0521>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0006-6235-7541>

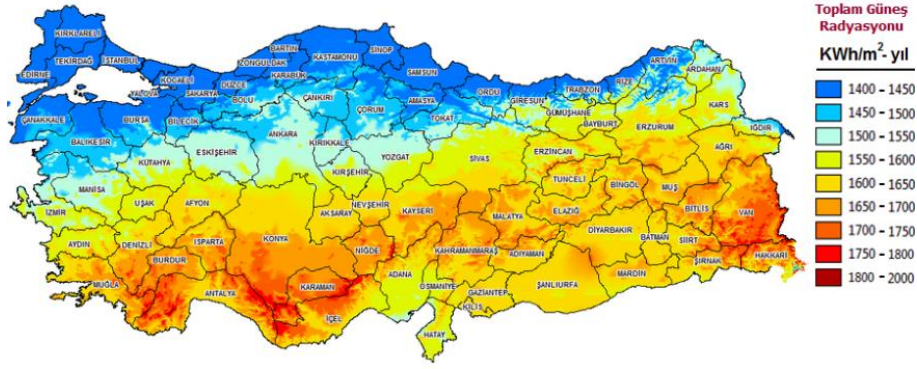
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-6266-2323>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0008-1069-4428>

## 1. Giriş

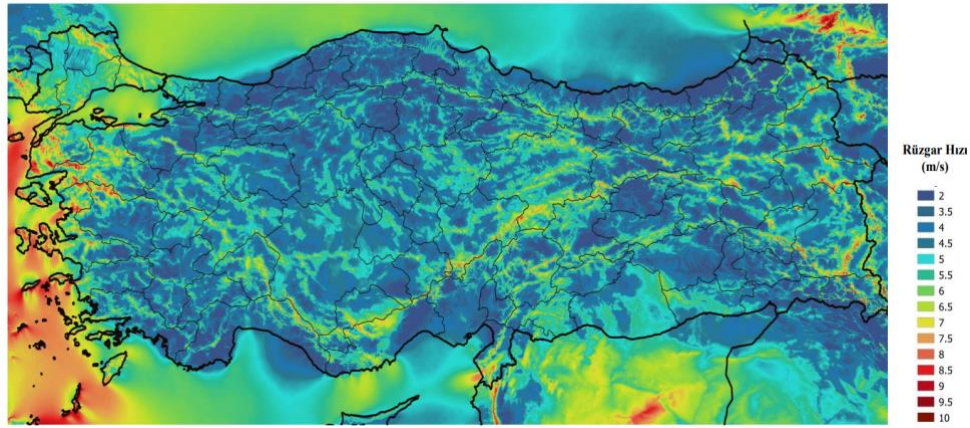
Gün geçtikçe artan insan popülasyonu, gelişen sanayi ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji talebi giderek artmaktadır. Bu artan enerji talebini karşılamak için yıldan yıla enerji sektörü büyümektedir. 2021 yılındaki global enerji üretimi on yıl öncesine göre %28 artarak 27.782,64 TWh'e ulaşmıştır (Global Electricity Review, 2022). Geçmiş yıllara ait enerji tüketimlerine bakıldığında 2020 yılı kaynaklara göre birincil enerji tüketiminin %27,2'si kömür, % 31,2'si petrol, % 24,7'si doğalgaz, % 4,3'ü nükleer, % 6,9'u hidro, %2,6'sı rüzgâr, % 1,4'ü güneş ve %0,5'i diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır (Holechek ve ark., 2022). 2019 yılında yaşanan pandemi sebebiyle enerji tüketimlerinde keskin bir düşüş yaşanmıştır. Bu keskin düşüşün ardından 2021' de tarihibir zirveyi ulaşılarak birincil enerji tüketimleri 31 EJ'e ulaşmıştır (Statistical Review of World Energy, 2022). Her geçen yıl artan enerji talebini karşılamak ve kesintisiz enerji sağlamak amacıyla fosil yakıt kullanımlarında artış gözlemlenmiştir (Güven ve Mete, 2022). 1990-2020 TÜİK Karbon Emisyonu verilerine göre karbondioksidin büyük bir kısmı Çin, ABD, Hindistan, Rusya ve Avrupa Birliği tarafından üretilmektedir (URL-1, 2022). Çin, dünyanın en büyük CO<sub>2</sub> üreticisi olup küresel emisyonların dörtte birini tek başına neden olmaktadır (URL-2, 2023). Türkiye, 2021 yılında küresel emisyonların %1,2'sine sahip olarak, dünyada en çok emisyonu neden olan 14. ülke konumundadır. Kişi başı karbon emisyonlarına bakıldığında ise Türkiye, yılda 5,3 ton karbon emisyonu ile dünya ortalamasının üzerinde yer almaktadır (Akyüz ve ark., 2019). Fosil yakıt kullanım sonucunda küresel ısınmanın giderek artması ülkeleri bu sorunları çözmeye yöneltmiştir. Bu sorunlara bir çözüm olarak ülkeler arasında iklim değişikliğini önlemek için Paris İklim Anlaşması 4 Aralık 2015 yılında yürürlüğe girmiş olup aralarında Türkiye'nin de olduğu 191 ülke tarafından imzalanmıştır. Anlaşma gereği 2030'a kadar %50 sera gazı salınımının engellenmesi, 2050 yılına gelindiğinde ise net sıfır emisyon hedefine ulaşılması hedeflenmektedir. Planlanan bu çözümler doğrultusunda çevre ve iklim koşullarının eski haline dönmesi sağlanamayacak olsa da canlı yaşamının devamı için daha kötü şartların oluşması engellenebilecektir (IPCC, 2014).

Türkiye'nin 2022 yılında elektrik tüketimi 328,9 TWh olup bu tüketimin %34,6'sı kömür, %22,2'si doğalgazdan, %20,6'sı hidrolik enerjisinden, %10,8'i rüzgârdan, %4,7'si güneşten, %3,3'ü jeotermalden ve %3,7'si diğer kaynaklardan karşılanmıştır (URL-3). Şekil 1'de verilen güneş enerji potansiyel atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1.527,46 kWh/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Bilhan ve Emikönel, 2021). Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle Avrupa ülkelerinden daha çok güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Gyam, 2022). Son yıllarda güneş enerjisine talep giderek artmaktadır. Bunun başlıca nedeni yapılan teşvikler, alım garantisi, yönetmelikler, vergi muafiyeti gibi düzenlemeler güneş santrallerine yönelimi artırmıştır (Hakyemez, 2022).



Şekil 1. Türkiye Toplam Güneş Radyasyonu Haritası (GEPA 2023)

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) rüzgâr enerjisi verileri incelendiğinde yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri yıllık ortalama rüzgâr hızlarına sahip  $\text{km}^2$  başına 5 MW gücünde rüzgâr potansiyeli olan bölgede rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Şekil 2’de verilmiş olan Türkiye’nin yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımına bakıldığında diğer bölgelere kıyasla ege bölgesinin ortalama rüzgâr hızı potansiyelinin açık ara önde olduğu görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığında alınan verilere göre Türkiye’de rüzgâr enerji santrallerinin toplam kapasitesi 47.849,44 MW olduğu belirlenmiştir (URL-4, 2022). Haziran 2022 sonu itibariyle rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 10.976 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı % 10,81’dir (URL-4, 2022).



Şekil 2. Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı Dağılımı Haritası – 100 metre (REPA 2023)

TEİAŞ 2022 raporlarına göre Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücü yıldan yıla arttığı gözlemlenmiştir (TEİAŞ, Aralık 2022 Kurulu Güç Raporu, 2022). Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının gün geçtikçe hayatımızdaki yeri giderek artmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanılabilmesi için teknolojik gelişmeler ve yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi birbirini tamamlayıcı etkisi bulunan farklı enerji kaynaklarının bir arada kullanıldığı hibrit enerji sistemleridir. Örneğin; Güneş enerji santrali

ile rüzgâr enerji santralının bir arada kullanılmasıdır. Güneş ışınlarının en kuvvetli ve parlak olduğu yaz aylarında rüzgâr hızı düşüktür, daha az güneş enerjisinin bulunduğu kış aylarında ise rüzgâr hızı yüksektir. Rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerinde verimli enerji üretimi, günün ve yılın değişik zaman aralıklarında farklılık göstermektedir. Rüzgâr hızının yetersiz veya verimsiz olduğu günlerde alternatif olarak güneş enerjisinden yararlanılabilmektedir. Böylece sistemde enerji üretiminin devamlılığı ve verimliliği sağlanmış olunur (Atik ve Sekin, 2022).

## 2. Literatür Araştırması

Literatürde Homer programı kullanılarak hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin analizine yönelik pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları; Bursa'nın Gemlik ilçesinin elektrik yük ihtiyacını karşılayacak hibrit yenilenebilir enerji sistemi tasarımı HOMER yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Öztürk ve ark., 2019). Mamur ve arkadaşları, kamu binası olan Kozlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nin (Kozlu EML) 23 kW güneş panelli ve 36 kW rüzgâr türbininden oluşan hibrit enerji santrali tasarlamışlardır. Bu çalışma sonunda Kozlu EML'nin enerji ihtiyacını karşılayabilecek hibrit sistem tasarlayarak 7,8 yılda amortisman süresi hesaplanmıştır (Mamur ve ark., 2019). Kılıç ve Adalı, Bursa ili Nilüfer ilçesinde yer alan bir süpermarketin 2020 yılı elektrik tüketim değerleri baz alınarak HOMER Pro programı kullanılarak rüzgâr-güneş-şebeke hibrit enerji sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir (Kılıç ve Adalı, 2022). Yılmaz ve Dinçer, Kilis'te bulunan bir yazlık evin elektrik ihtiyacını karşılamak için fotovoltaik panel, dizel jeneratör ve bataryadan oluşan en optimum hibrit enerji sistemini dizayn etmişlerdir (Yılmaz ve Dinçer, 2017). Padrón ve arkadaşlarının çalışmasında Kanarya Adaları'nda bulunan otonom tuz arıtma sisteminin güç ihtiyacını yenilenebilir enerji sistemlerinden karşılanmasını hedeflemişlerdir. Yapılan bu çalışmada oluşturulan hibrit enerji sistem modellerini HOMER programı aracılığıyla teknik ve ekonomik açıdan incelemişlerdir. (Padrón ve ark., 2019). Tabak, çalışmasında Konya ilindeki fabrikanın elektrik ihtiyacını karşılamak için on-grid hibrit sistem kurmuştur. Bu sistemi HOMER programı üzerinde kurarak güneş enerji santrali, akü ve dizel jeneratörden yararlanmıştır (Tabak, 2021). Türkdoğan ve arkadaşları, Yalova'da bulunan bir çiftlik evinin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla HOMER programı üzerinde hibrit enerji sistemi kurmuştur (Türkdoğan ve ark., 2018). Bu çalışmalara ek olarak literatür de son yıllarda yapılan benzer çalışmalar Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Literatür Araştırması

Referans	Yıl	Tasarım Bölgesi	Bileşenler	Şebeke Bağlantılı/ Şebeke Bağlantısız	Tasarım Kriteri
Kalamaras ve ark.	2019	Yunan Adaları, Yunanistan	FV-Rüzgâr Türbini- Elektrolizer-Batarya-Hidrojen Tankı-Yakıt Pili	Şebeke Bağlantısız	Ekonomik
Baran ve ark.	2019	-	FV- PHEs-Atıktan Enerji Santrali-Rüzgâr Türbini	Şebeke Bağlantılı	Teknik
Kılıç ve Kayıkçı	2019	Aydın, Türkiye	FV-Rüzgâr Türbini	Şebeke Bağlantılı	Ekonomik ve Çevre
Çetin ve Avcı	2019	-	Buhar Türbini- Yoğunlaştırılmış Güneş Sistemi	Şebeke Bağlantılı	Teknik, Ekonomik ve Çevresel
Kayıkçı	2020	Aydın, Türkiye	FV-Rüzgâr Türbini	Şebeke Bağlantılı	Ekonomik ve Çevre
Bhattacharjee ve Nandi	2020	Odisha, Hindistan	FV-Rüzgâr Türbini - Biyokütle Santrali	Şebeke Bağlantılı	Teknik, Ekonomik ve Çevresel
Sawle ve Thirunavukkarasu	2020	Tamil Nadu, Hindistan	FV-Dizel-Jeneratör-Batarya	Şebeke Bağlantısız	Teknik ve Ekonomik
Güven ve Poyraz	2021	Muğla, Türkiye	FV-Rüzgâr türbini- Batarya	Şebeke Bağlantısız	Ekonomik
Kırbaş ve Kocakulak	2021	Burdur, Türkiye	FV- Rüzgâr Türbini	Şebeke Bağlantılı	Ekonomik
Güven ve Mete	2021	Balıkesir, Türkiye	FV-Rüzgâr Türbini-Batarya- Biyogaz Jeneratörü	Şebeke Bağlantılı	Teknik ve Ekonomik
Kılıç	2022	İzmir, Türkiye	FV-Rüzgâr Türbini	Şebeke Bağlantısız	Ekonomik
Yalılı Kılıç, M. ve ark	2022	Bursa, Türkiye	FV Sistem-Batarya	Şebeke Bağlantılı ve Şebeke Bağlantısız	Teknik ve Ekonomik
Güçyetmez	2023	Kırşehir, Türkiye	Düşey Rüzgâr Türbini- FV- İnvertör-Batarya	Mikro-Akıllı Şebeke	Teknik ve Ekonomik

Bu çalışmada, İzmir ilinde varsayılan endüstriyel bölgenin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla farklı enerji kaynaklarının bir arada kullanıldığı hibrit enerji santrali modelleri tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemler HOMER yazılımı kullanılarak farklı senaryolar için optimize edilmiştir. İncelenen senaryolarda birim elektrik maliyeti, yıllık karbon salımı (kg/yıl) ve kurulan santralin amortisman süresi gibi değerlerle karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda en optimize ve en verimli senaryo modeli belirlenmiştir. Senaryolarda oluşturulan hibrit enerji sistemleri on-grid model olup, çalışma boyunca 5 adet senaryo incelenecektir.

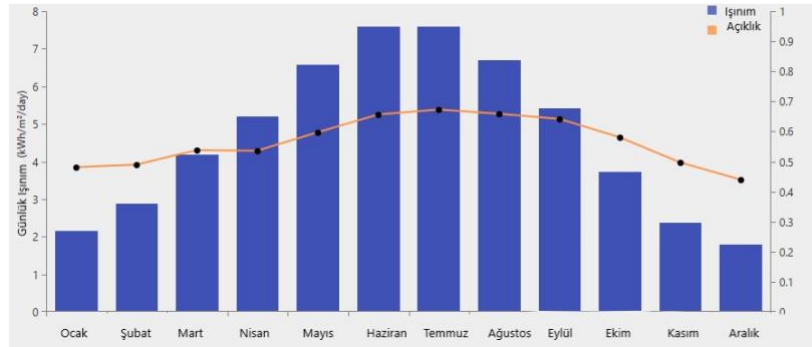
### 3. Materyal ve Metot

Tasarımı yapılan hibrit enerji sisteminin analizi farklı senaryolar için HOMER yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda baz alınan kriterlere göre en uygun sistem modeli belirlenmiştir. HOMER, NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmiş olup, gerçek dağıtılmış üretim sistemlerinin karşılaştırmalı ekonomik analizini yaparak hibrit sistemleri birim elektrik maliyeti, yıllık karbon salımı (kg/yıl) ve kurulan santralin amortisman süresi gibi değerlere göre sıralamayı sağlayan simülasyon programıdır (URL-5,2023). Hibrit sistemlerin tasarlanmasında fizibilite analizlerinin en iyi şekilde gerçekleştirilmesi büyük önem

taşımaktadır. HOMER yazılımı teknik, ekonomik ve çevresel açıdan yaptığı değerlendirmelerle en uygun şekilde bütünleşmiş olan sistemi, simülasyon sonucu olarak göstermektedir (Özkoca, 2019).

### 3.1. Bölgenin Konumu ve Meteorolojik Veriler

Bu çalışmanın yapılacağı konum olarak Türkiye'nin İzmir ili seçilmiştir. İzmir ili ( $38^{\circ} 25' 60''N$ ,  $27^{\circ} 9' 0'' E$ )  $12.012 \text{ km}^2$  yüz ölçümüne sahip olup Ege Bölgesinde bulunmaktadır (URL-6, 2023). Bölgenin aylık ortalama güneş ışınım grafiği Şekil 3'te verilmiştir. İncelenen çalışmalara göre ekonomik güneş enerji santrali yatırımı için bölgenin yıllık ortalama global radyasyon değerinin  $1.500 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$  değerinin üzerinde olması gerekmektedir (Öztürk ve ark., 2019). İzmir ili Aylık Ortalama Işınım Miktarları Tablo 2'de verilmiştir. NASA veri tabanından alınan meteorolojik verilere bakıldığında İzmir ilinin günlük ortalama güneş radyasyonu  $4,68 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$  ve yıllık ortalama global radyasyon değerinin  $1.708,2 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$  olduğu görülmektedir. Bölgenin yıllık ortalama global radyasyon değerine bakıldığında güneş enerji santrali kurulumuna uygun olduğu gözlemlenmiştir.



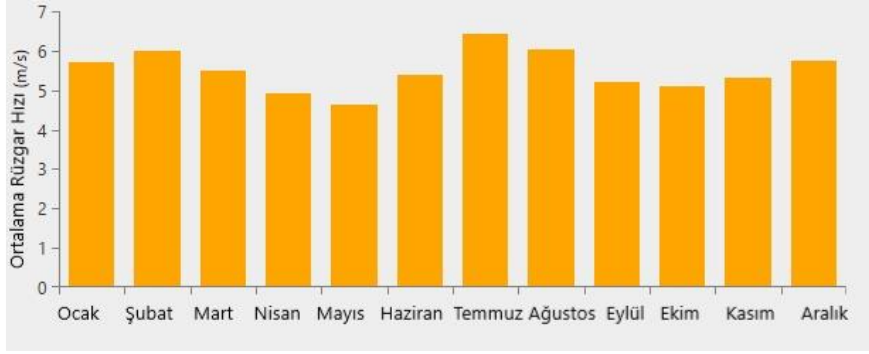
Şekil 3. İzmir İli Aylık Ortalama Güneş Radyasyonu Grafiği

Tablo 2. Aylık Ortalama Işınım Miktarları

Ay	Netlik Endeksi	Günlük Işınım (kWh/m²/Gün)
Ocak	0,479	2,16
Şubat	0,488	2,87
Mart	0,536	4,19
Nisan	0,534	5,20
Mayıs	0,595	6,58
Haziran	0,655	7,58
Temmuz	0,671	7,58
Ağustos	0,657	6,70
Eylül	0,64	5,41
Ekim	0,579	3,73
Kasım	0,495	2,38
Aralık	0,438	1,79

İzmir ilinin aylık ortalama rüzgâr hız grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Rüzgâr türbinlerinin çoğu devreye alınabilmesi için yaklaşık rüzgâr hızının  $3-4 \text{ m/s}$  olması gerekmektedir (Al-Ameri, A. ve ark.,

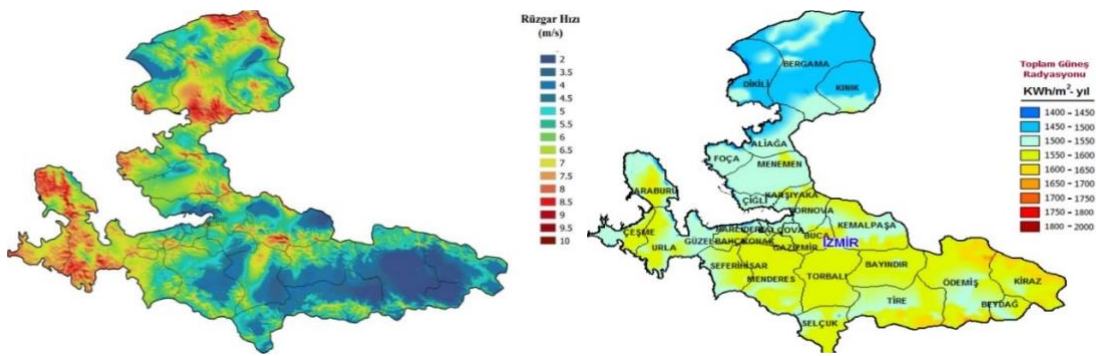
2017). Tablo 3'te İzmir ili aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri verilmiştir. NASA veri tabanından alınan meteorolojik verilere bakıldığında yıllık ortalama rüzgâr hızının 5,50 m/s olduğu görülmektedir. İncelemeler sonucunda, İzmir ilinin rüzgâr enerji santrali kurulumuna uygun olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5'te İzmir ilinin rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli atlası verilmiştir.



Şekil 4.İzmir İli Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Grafiği

Tablo 3. Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Aylar	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
Ocak	5,7
Şubat	6
Mart	5,5
Nisan	4,91
Mayıs	4,63
Haziran	5,38
Temmuz	6,43
Ağustos	6,04
Eylül	5,22
Ekim	5,11
Kasım	5,32
Aralık	5,74



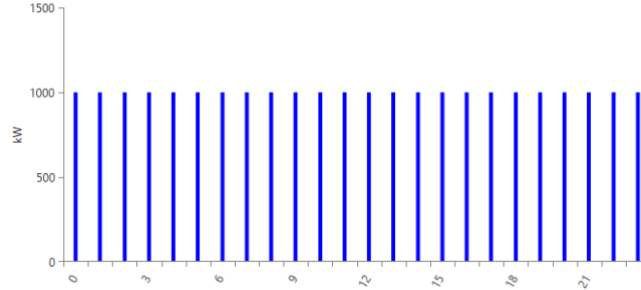
a) İzmir İli Rüzgâr Enerji Potansiyeli Atlası

b) İzmir İli Güneş Enerji Potansiyeli Atlası

Şekil 5. İzmir İlinin Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

### 3.2. Yük Profili

Yapılan çalışmada İzmir ilinde belirlenen endüstriyel bölgenin elektrik ihtiyacının karşılanması hedeflenmiştir. Bu nedenle endüstriyel bölgelerin güç talepleri ve çalışma saatleri göz önüne alınarak kesintisiz bir elektriğe ihtiyaç duyulmaktadır. Belirlenen endüstriyel bölgenin günlük yük profili Şekil 6’da belirtilmiştir. HOMER yazılımı, endüstriyel bölgenin enerji talebini 24.000 kWh/gün ve pik gücünü 1.833,2 kW olacak şekilde yük profilini modellemiştir.



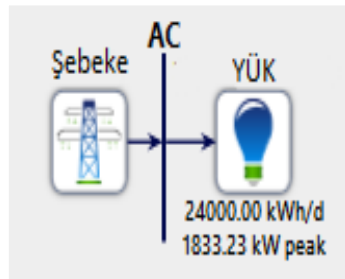
Şekil 6. Bölgenin Günlük ve Aylık Endüstriyel Yük Profili

### 3.3. Hibrit Sistem Bileşenleri

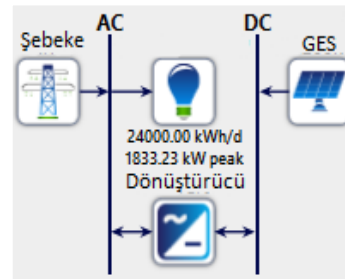
Çalışmada şebeke bağlantılı beş farklı enerji sistemi modeli incelenmiştir. Şekil 7’de, modellenmesi yapılan enerji sistemlerinin şematik diyagramları verilmiştir. Senaryolarda kullanılan sistem bileşenlerin birim maliyetleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Bileşenlerin Birim Maliyetleri

Bileşenler	Kurulum Maliyeti (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$/yıl)
Rüzgâr Türbini (1.5 MW)	\$3.000.000	\$3.000.000	\$30.000
Güneş Paneli (1 kW)	\$640	\$640	-
Batarya (MWh)	\$500.000	\$500.000	\$5.000
Dönüştürücü (1 kW)	\$300	\$300	-

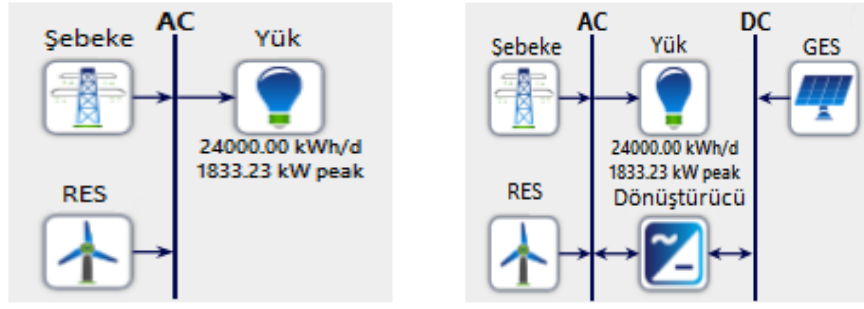


a) Senaryo 1



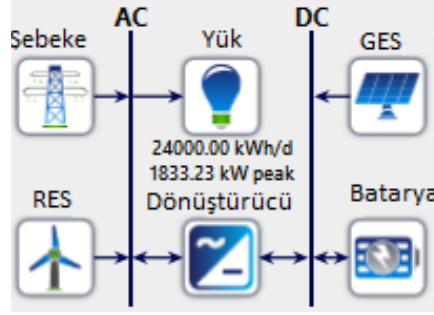
b) Senaryo 2





c) Senaryo 3

d) Senaryo 4



e) Senaryo 5

Şekil 7. Sistem Modellemeleri

### 3.3.1. Rüzgâr Türbini

İzmir ilinin rüzgâr hızı atlasına bakıldığında ortalama rüzgâr hızının yüksek olduğu Şekil 5a'dan görülmektedir. Endüstriyel bölgedeki elektrik tüketiminin yüksek olmasından dolayı ihtiyacı karşılayabilecek rüzgâr türbininin kapasitesi 1.5 MW ve yüksekliği 80 m olarak seçilmiştir. Seçilen türbinin rüzgâr hızı-güç çıkışı değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.**Rüzgâr Hızı-Çıkış Gücü Tablosu

Rüzgâr Hızı (m/s)	Güç çıkışı (kW)
0	0
4	0
4	80
5	150
6	250
7	400
8	600
9	850
10	1150
11	1350
12	1450
13	1490
14	1500
16	1500
20	1500
25	1500
>25	0

### 3.3.2. Güneş Paneli

İzmir ilinde kurulacak güneş enerji santralinde Peimar SG20M5 marka, 200W gücündeki güneş paneli seçilmiştir. Bu panel 5,41A Impv ve 37 V Vmpv değerine sahip %15,7 verimliliğinde monokristal bir güneş panelidir.

### 3.3.3. Batarya

Bu çalışmada 1 Mwh enerji depolama kapasitesine sahip, nominal voltajı 600 V olan Li-İon batarya kullanılmıştır. Gidiş-Dönüş verimliliği %90 olarak HOMER yazılımı belirlemiştir. HOMER yazılımı bataryanın ömrünü ortalama 15 yıl olarak belirlemiştir.

### 3.3.4. Dönüştürücü

Bu çalışmada dönüştürücü, güneş enerji santralının ürettiği DC gücü AC güce çevirerek yükün beslenmesini sağlamak veya rüzgâr enerji santralının ürettiği AC gücü DC güce çevirerek bataryanın şarj olmasını sağlamaktır. Senaryolarda kullanılan dönüştürücülerin %95 verimlilikte ve %100 bağlı kapasitede, 15 yıl çalışma süresinin olduğu HOMER’da belirtilmiştir.

## 4. Bulgular ve Metot

### 4.1. Senaryo 1

Bu senaryoda elektrik tüketiminin sadece şebekeden karşılanması ve çalışma sonucunun diğer senaryolarla karşılaştırılması hedeflenmiştir. Senaryo 1 diyagramı Şekil 7a’da verilmiştir. 2022 verilerine göre şebekeden elektrik alış fiyatı kWh başına 0,116 \$ ve şebekeye elektrik satış fiyatı kWh başına 0,019 \$ olarak belirlenmiştir (TÜİK Kurumsal, 2022). HOMER programına bilgileri girilen şebeke elektrik fiyatları sonucunda simülasyon yürütülmüş olup endüstriyel yükün yıllık elektrik tüketim miktarı Tablo 6’da verilmiştir. Simülasyon sonucunda yıllık elektrik tüketim maliyeti, birim kW başına elektrik maliyeti, net şimdiki maliyet Tablo 7’de verilmiştir.

### 4.2. Senaryo 2

Şekil 7b’de şeması verilen senaryoda güneş enerji santrali ve şebekenin bulunduğu sistem tasarlanmıştır. Bölüm 3.3’te verilen 200 W gücünde Peimar SG200M5 modelindeki güneş paneli ve

dönüştürücü bilgileri HOMER programına girilerek sistemin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda senaryo 2'ye ait güneş enerji santrali ve dönüştürücünün kurulu gücü Tablo 6'da verilmektedir. Elektrik tüketiminin %41,9 'u güneş enerji santralinden, %58,1 'i şebekeden karşılanmaktadır. Tablo 6'da güneş enerji santralinin yıllık üretimi ve şebekeden çekilen miktar gösterilmiştir.

### 4.3. Senaryo 3

Şekil 7c'de şeması verilen rüzgâr enerji santrali ve şebekenin bulunduğu model tasarımı yapılmıştır. Bölüm 5'te türbin özelliği ve maliyeti verilmiş olan HOMER programının kütüphanesinde bulunan Generic 1.5 MW gücündeki model kullanılmıştır. Senaryo 3'te kullanılan rüzgâr enerji santralinin kurulu gücü Tablo 6'da verilmiştir. Elektrik tüketiminin %50,1'i rüzgâr enerji santralinden, %49,9'u şebekeden karşılanmaktadır. Tablo 6'da rüzgâr enerji santralinin yıllık elektrik üretim miktarı, şebekeye satılan yıllık elektrik miktarı ve şebekeden alınan elektrik miktarı verilmiştir.

### 4.4. Senaryo 4

Senaryo 4'te güneş ve rüzgâr enerji santrallerinin birlikte kullanıldığı hibrit enerji sistemi incelenmiştir. Sistem modellemesi Şekil 7d'de verilmiştir. Bölüm 3.3'te bilgileri verilen güneş paneli, rüzgâr türbini ve dönüştürücü kullanılarak sistemin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda kullanılan hibrit enerji santralinde elektrik üretiminin %21,6'sı güneş enerji santralinden, %43,9'u rüzgâr enerji santralinden ve %34,5'i şebekeden karşılanmıştır. Tablo 6'da hibrit santralin yıllık elektrik üretimi ve bileşenlerin kurulu güçleri verilmiştir.

### 4.5. Senaryo 5

Senaryo 5'in sistem diyagramı Şekil 7e'de görüldüğü üzere güneş enerji santrali, rüzgâr enerji santrali ve enerji depolama birimlerinden oluşmaktadır. Yapılan çalışmada sistem bileşenlerinin yıllık üretimleri ve kurulu güçleri Tablo 6'da verilmiştir. Bu sistemde yük takibi uygulanmıştır. Yük takibinin amacı önce yükü besleyip daha sonra batarya sisteminde enerji depo etmektir. Benzetim sonucunda hibrit enerji santralinde üretilen elektriğin %42,5'i güneş enerji santralinden, %43,9'u rüzgâr enerji santralinden, %13,6'sı şebekeden karşılanmaktadır.

**Tablo 6.** Senaryo Verileri

Senaryo	Güneş Enerji Santrali (kW)	Rüzgâr Enerji Santrali (kW)	Batarya Depolama Sistemi (Adet)	Dönüştürücü (kW)	Şebeke Kullanımı (%)	Şebekeden Alınan Elektrik Miktarı (kWh/Yıl)	Şebekeye Satılan Elektrik Miktarı (kWh/yıl)	Yıllık Elektrik Üretimi (kWh/yıl)
Senaryo 1	-	-	-	-	100	8.760.000	-	-
Senaryo 2	2.746	-	-	1.361	58,1	5.904.330	615.335	4.255.949
Senaryo 3	-	1.500	-	-	49,9	4.800.324	853.920	4.813.595
Senaryo 4	1.529	1.500	-	892	25,5	3.776.919	1.911.959	7.183.901
Senaryo 5	3.004	1.500	2	1.010	13,6	1.491.058	1.259.553	9.470.347

## 5. Ekonomik ve Çevresel Analiz

### 5.1. Ekonomik Analiz

Bu bölümde benzetim çalışmaları yapılan senaryoların ekonomik analizleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada senaryolar birim elektrik maliyeti, net şimdiki maliyeti, başlangıç maliyeti ve işletme maliyetine göre karşılaştırılmış elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir. Karşılaştırma sonucunda senaryo 1’de birim elektrik maliyetinin 0,116 \$ ile en fazla olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.** Senaryoların Ekonomik Analizi

Senaryo	Net Şimdiki Maliyeti (\$)	Birim Elektrik Maliyeti (\$/kWh)	İşletme Maliyeti (\$/yıl)	Başlangıç Maliyeti (\$)	Amortisman Süresi (Yıl)
Senaryo 5	\$9,46M	\$0,0730	\$250.101	\$6,23M	7,53
Senaryo 4	\$10,3M	\$0,0747	\$468.193	\$4,25M	7,27
Senaryo 3	\$10,8M	\$0,0868	\$602.902	\$3,00M	6,73
Senaryo 2	\$10,9M	\$0,0903	\$678.662	\$2,17M	6,31
Senaryo 1	-	\$0,116	\$1,02M	-	-

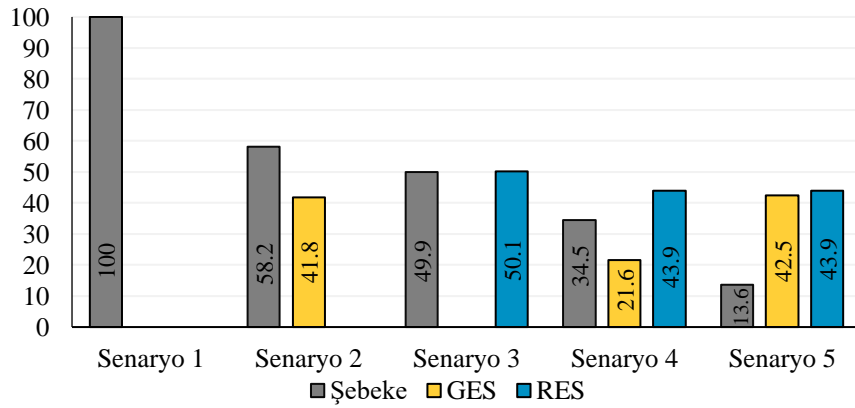
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmaya başlandığı senaryo 2 ve senaryo 3 çalışmalarında birim elektrik maliyeti sırasıyla 0,0903 \$ ve 0,0868 \$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 7’de verilen ekonomik verilere bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla birim elektrik maliyetinin düştüğü görülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanıldığı hibrit enerji sistemlerinin (senaryo 4 ve senaryo 5) birim elektrik maliyeti sırasıyla 0,0747 \$ ve 0,0730 \$ olduğu Tablo 7’de görülmektedir. Senaryo 4 ve senaryo 5’teki birim elektrik başına maliyet farkının sebebi senaryo 5’teki batarya sisteminden kaynaklanmaktadır. Ayrıca senaryolar amortisman süreleri bakımından karşılaştırıldığında en kısa olan senaryo 2 olduğu anlaşılmaktadır.

## 5.2. Emisyon Analizi

Senaryoların emisyon değerleri karşılaştırılmış ve elde edilen değerler Tablo 8’de verilmiştir. Referans alınan senaryo 1’in elektrik tüketiminden kaynaklanan yıllık emisyon değerlerine bakıldığında, senaryo 5’in yıllık emisyon değerlerinin en düşük olduğu görülmektedir. Depolamalı hibrit enerji sisteminin kullanılmasıyla endüstriyel yükün elektrik tüketiminden kaynaklı yıllık CO<sub>2</sub> salınımında %82’lik bir düşüş sağlanmış olacaktır. Şekil 8’de tüm senaryolarda kaynaklarına göre enerji kullanım oranları verilmiştir. Tablo 8 ve Şekil 8 incelendiğinde yenilenebilir enerji kullanım oranı arttıkça elektrik tüketiminden kaynaklanan emisyon değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 8.**Emisyon Değerleri

Senaryo	Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	Karbon Monoksit (CO)	Yanmış Hidrokarbonlar)	Partikül Madde	Kükürt Dioksit SO <sub>2</sub>	Nitrojen Oksit N <sub>2</sub> O	Birim
Senaryo 1	5.536.320	0	0	0	24.002	1.738	Kg/yıl
Senaryo 2	3.731.536	0	0	0	16.178	7.912	Kg/yıl
Senaryo 3	3.033.805	0	0	0	13.153	6.432	Kg/yıl
Senaryo 4	2.387.013	0	0	0	10.349	5.061	Kg/yıl
Senaryo 5	942.348	0	0	0	4.085	1.998	Kg/yıl

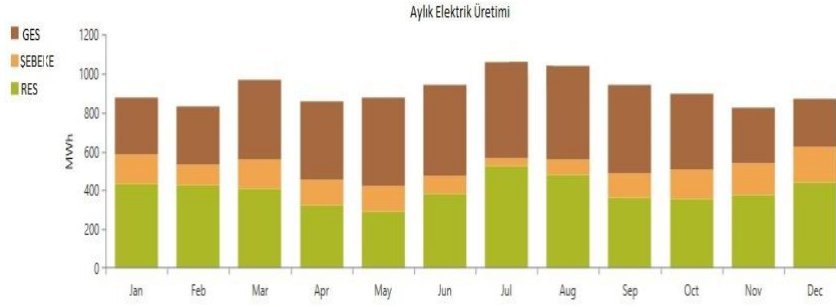


**Şekil 8.**Kaynaklarına Göre Enerji Kullanım Oranı

## 6. Sonuçlar ve Öneriler

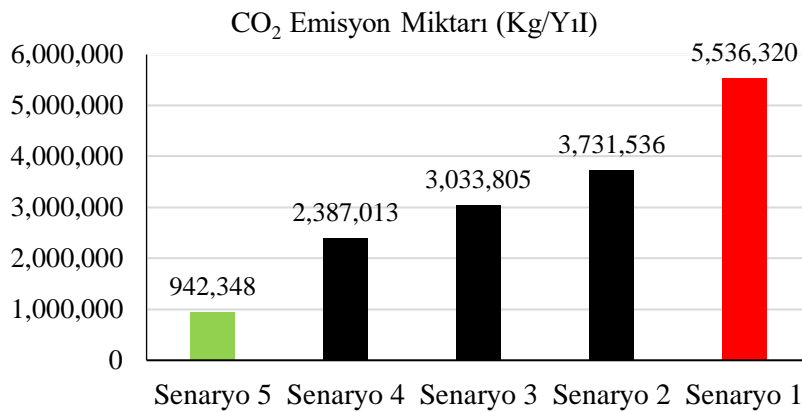
İzmir ilinde bulunan günlük 24.000 kWh elektrik tüketimine sahip endüstriyel bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak için hibrit enerji üretim santralli tasarımı HOMER yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tasarlanan 5 farklı senaryonun ekonomik ve çevresel analizleri yapılmıştır. Yapılan benzetimler sonucunda birim elektrik maliyeti en düşük olan sistem depolamalı hibrit enerji sistem (Senaryo 5) olduğu görülmüştür. Senaryo 5’te bulunan yenilenebilir enerji

kaynaklarının ve şebekenin aylık elektrik üretimindeki payları Şekil 9'da verilmiştir.

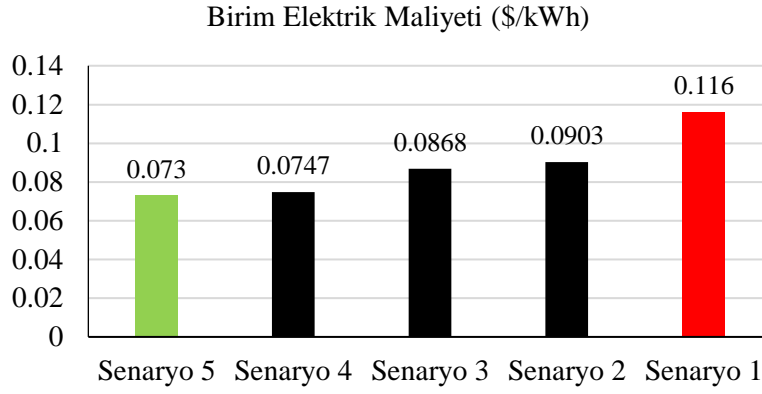


**Şekil 9.** Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimindeki Dağılımları

Şekil 9'da görüldüğü üzere rüzgâr enerji santralının yıllık elektrik üretimi 4.813.595 kWh, güneş enerji santralının yıllık elektrik üretimi 4.656.752 kWh ve şebekeden çekilen yıllık elektrik miktarı ise 1.491.058 kWh olarak bulunmuştur. Bataryada yıllık depolanan enerji miktarı 2.297.491 kWh olarak hesaplanmıştır. Depolamalı hibrit enerji sisteminin şebekeye sağlamış olduğu yıllık enerji miktarı 1.259.553 kWh'tir. Ayrıca sistemin birim elektrik maliyeti 0,0730 \$, net şimdiki maliyeti 9,46M\$ olarak hesaplanmıştır. Senaryoların birim elektrik maliyeti karşılaştırmaları Şekil 10.b'de verilmiştir. Bataryalı hibrit enerji sisteminin kurulum maliyeti 6,23 M\$, yıllık işletme maliyeti 250.101 \$ ve amortisman süresi 7,53 yıl olarak hesaplanmıştır. Yıllık CO<sub>2</sub> salınımına göre senaryolar karşılaştırıldığında senaryo 5'te %82'lik bir düşüş görülmektedir. Bu sayede yılda 4.593.952 kg CO<sub>2</sub>'nin doğaya salınımı engellenmektedir. Senaryoların yıllık CO<sub>2</sub> emisyon miktarları karşılaştırılması Şekil 10.a'da verilmiştir.



**a)** CO<sub>2</sub> Emisyon Miktarları



b) Birim Elektrik Maliyeti

Şekil 10. Senaryoların Birim Elektrik Maliyetleri ve Emisyon Miktarları

Sonuç olarak elektrik tüketimi ve enerji potansiyeli yüksek olan bölgelere çevreye duyarlı yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı hibrit enerji sistemlerinin kurulmasının çevresel ve ekonomik açıdan avantajlı olduğu anlaşılmaktadır.

### Yazarların Katkısı

Bu çalışmada tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- Al-Ameri, A., Ounissa, A., Nichita, C., & Aouzellag, D. (2017). Power Loss Analysis for Wind Power Grid Integration Based on Weibull Distribution, *Energies*, 10, 463. <https://doi.org/10.3390/en10040463>
- Atık, İ., ve Sekin, A. (2022). Hibrit yenilenebilir enerji sistem tasarımı: Balıkesir örneği, *DÜMF Mühendislik Dergisi*. <https://doi.org/10.24012/dumf.1148223>
- Baran, B., Mamis, M. S., ve Alagöz, B. B .,(2016, Aralık). Çok-Kaynaklı Yenilenebilir Enerji Mikro-şebekesinin Yönetim Simülasyonu. *ELECO 2016-Elektrik Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı* (s. 33-37). Bursa
- Bhattacharjee, S., & Nandi, C., (2021). Design of a voting based smart energy management system of the renewable energy based hybrid energy system for a small community. *Energy*, 214, 118977. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118977>

- Bilhan, A., & Emikonel, S. (2021). Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri. *European Journal of Science and Technology*, 24, 289-294 <https://doi.org/10.31590/ejosat.900024>
- BP Statistical Review of World Energy 2022, British Petroleum, 2022.
- Çetin, B., & Avcı, H. (2019). Mevcut Kömürlü Bir Termik Santralin Güneş Destekli Hibrit Santrale Dönüşümünün Teknik ve Ekonomik Analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (2), 1027-1046. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.418417>
- Elektrik Piyasası 2022 Yılı Aralık Ayı Piyasa Gelişim Raporu, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara 2022.
- Global Electricity Review. (2022). EMBER. <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2022/>
- Güçyetmez, M. (2023). Mikro ve Akıllı Şebekelere Geçiş Sürecinde Binaya Entegre Düşey Rüzgâr Türbini ve Güneş Hibrit Enerji Sistemi (DRTG-HES)'in İncelenmesi, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1). <https://doi.org/10.21597/jist.1142036>
- Güven, A. F., & Mete, M. K. (2021). Balıkesir'in Erdek İlçesi için Şebeke Bağlantılı Hibrit Enerji Sistemi Fizibilite Çalışması ve Ekonomik Analizi, *Mühendis ve Makina*, 63(706), 706. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.1085748>
- Gyam, M. (2022). *Güneş Enerjisi Santrallerinin Türkiye ve Avrupa'daki Geri Ödeme Sürelerinin Karşılaştırması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük. <http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/2400>
- Hakyemez, C., (2022). Aylık Enerji Bülteni, *TSKB Ekonomik Araştırmalar*, 7,1-7.
- Holechek, J. L., Geli, H. M. E., Sawalhah, M. N., & Valdez, R. (2022). A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050? *Sustainability*, 14(8), <https://doi.org/10.3390/su14084792>
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kalamaras, E., Belekoukia, M., Lin, Z., Xu, B., Wang, H., & Xuan, J. (2019). Techno-economic Assessment of a Hybrid Off-grid DC System for Combined Heat and Power Generation in Remote Islands. *Energy Procedia*, 158, 6315-6320. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.406>
- Kayıkci, B. (2020). *Aydın İli Didim İlçesindeki Kırsal Bölgede Yer Alan Bir Konutun Elektrik İhtiyacının Hibrit Güneş-Rüzgar Enerji Sistemi İle Karşılmasının Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kılıç, M., & Adalı, S., (2022). Elektrik İhtiyacının Karşılmasında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi-Süpermarket Örneği, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1). <https://doi.org/10.47495/okufbed.998900>
- Kılınç, C., (2022), Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri ile Sera Sulama Sistemi Tasarımı: İzmir Örneği. *Politeknik Dergisi*, 25(1). <https://doi.org/10.2339/politeknik.1085855>
- Kumaş, K., Akyüz, A. Ö., Zaman, M., & Güngör, A., (2019). Sürdürülebilir Bir Çevre İçin Karbon Ayak izi Tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu Örneği. *El-Cezeri*, 6(1). <https://doi.org/10.31202/ecjse.459478>
- Mamur, H., Yakar, M. C., & Zerafet, A. (2019). Bir Kamu Binası İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilitesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 11(1).
- Özkoca, M. İ. (2019). *Kojenerasyon ve Güneş Enerjisinin Bütünleştirildiği Hibrit Sistemin Ekonomik Ve Emisyon Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, Z., Tosun, S., & Öztürk, A. (2019). Örnek Bir Hibrit Yenilenebilir Enerji Sisteminin HOMER ile Modellenmesi, Ekonomik ve Teknik Yönden Analizleri, *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2).
- Padrón, I., Avila, D., Marichal, G. N., & Rodríguez, J. A. (2019). Assessment of Hybrid Renewable Energy Systems to supplied energy to Autonomous Desalination Systems in two islands of the Canary Archipelago, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.009>
- Tabak, A. (2021). Analysis and Design of a Hybrid Energy Production System to Meet the Energy Demand of a Plant in Konya, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 13(1), 220-230. <https://doi.org/10.29137/umagd.794898>
- TEİAŞ Aralık Kurulu Güç Raporları (2022). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Web Site: <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>, (Erişim Tarihi: 2 Ocak 2023)



- Thirunavukkarasu, M., & Sawle, Y. (2020). Design, analysis and optimal sizing of standalone PV/diesel/battery hybrid energy system using HOMER. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 937(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/937/1/012034>
- TÜİK, “Türkiye İstatistik Kurumu”, Elektrik ve Doğal Gaz Fiyatları. Web. (https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Electricity-and-Natural-Gas-Prices-Period-I:-January-June,-2021-37459%20), (Erişim Tarihi: 12 Aralık 2022).
- Türkdoğan, S., Mercan, M. T., & Çatal, T. (2020). Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşıllanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri, *European Journal of Science and Technology*, 476-485. <https://doi.org/10.31590/ejosat.688048>
- URL-1: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862> (Erişim Tarihi 23 Kasım 2022).
- URL-2: <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-59088481> , (Erişim Tarihi 14 Nisan.2023)
- URL- 3 : <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> (Erişim Tarihi: 08.08.2023)
- URL-4:2022 <https://www.enerji.gov.tr/anasayfa>, (Erişim Tarihi 20 Aralık 2023)
- URL-5:2023 <https://www.homerenergy.com/> (Erişim tarihi: 11 Kasım 2022)
- URL-6: <https://tr.db-city.com/T%C3%BCrkiye--%C4%B0zmir--%C4%B0zmir>, (Erişim tarihi: 09 Nisan 2023).
- Yalılı Kılıç, M., Adalı, S. & Aydın, M. (2022). Elektrik İhtiyacının Sağlanmasında Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistem Tasarımı: Bursa Tekstil Fabrikası Örneği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27 (3), 897-910. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1161361>
- Yılmaz, S., ve Dincer, F. (2017). Optimal design of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated lands: A case study for Kilis, Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 344-352. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.037>