



# Balıkesir'in Erdek İlçesi için Şebeke Bağlantılı Hibrit Enerji Sistemi Fizibilite Çalışması ve Ekonomik Analizi

Aykut Fatih Güven<sup>1\*</sup>, Mertcan Kubilay Mete<sup>2</sup>

## ÖZ

Bu çalışmada Balıkesir'in Erdek ilçesinin 2020 yılı aylık elektrik tüketim değerlerini karşılamak amacı ile oluşturulabilecek en optimum şebeke bağlantılı hibrit enerji sistemi tasarımı HOMER programında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı ise fosil yakıtların tükenmesi ile artan maliyetleri ve çevreye verdikleri zararlardan ötürü seçilen bölgenin daha ucuz ve temiz olan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi eldesini sağlamaktır. Tasarlanabilecek en optimum sistem arayışında farklı senaryolarda sistemler tasarlanmış ve karşılaştırılmıştır. Bu senaryoları oluşturan bileşenler şebeke bağlantısı, güneş paneli, rüzgar türbini, dizel ve biyogaz jeneratörleri, yakıt pili, elektrolizör, hidrojen tankı, batarya ve dönüştürücü olmaktadır. Senaryolar arasındaki farklar ise jeneratör tiplerinden kaynaklanmaktadır. Oluşturulan sistemler arasından şebeke bağlantılı Güneş Paneli/Rüzgar Türbini/Biyogaz Jeneratörü/Batarya hibrit enerji sistemi 176 Milyon \$ net bugünkü maliyeti, 0,0301 \$ birim enerji maliyeti ve %100 yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimi ile hem maliyet hemde çevreci yaklaşım açısından en optimum sistem tasarımını temsil etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik üretimi, hibrit sistem, HOMER, maliyet analizi, yenilenebilir enerji

## Feasibility Study and Economic Analysis of On Grid Hybrid Energy System for Balıkesir Province Erdek

### ABSTRACT

In this study, the most optimum grid connected hybrid energy system design that can be created in order to supply the monthly electricity consumption values of Balıkesir's Erdek district in 2020 was carried out in the HOMER program. The aim of this study is to obtain electrical energy from cheaper and cleaner renewable energy sources in the selected region due to the increasing costs and environmental damage caused by the depletion of fossil fuels. In search of the optimum system that can be designed, systems were designed and compared in different scenarios. The components that make up these scenarios are grid connection, photovoltaic pannel, wind turbine, diesel and biogas generators, fuel cell, electrolyzer, hydrogen tank, battery and converter. The differences between the scenarios are due to the generator types. Among the systems created, the grid connected Photovoltaic Panel/Wind Turbin/Biogas Generator/Battery hybrid energy system represents the most optimal system design in terms of both cost and environmentalist approach, with a net current cost of \$ 176 Million, a unit energy cost of \$ 0,0301 and production from 100% renewable energy sources.

**Keywords:** Electricity generation, hybrid system, HOMER, cost analysis, renewable energy

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 20.08.2021

Kabul/Accepted : 20.10.2021

<sup>1</sup> Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova  
afatih.guven@yalova.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1071-9700

<sup>2</sup> Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova  
mertcankubilaymete@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9387-1045



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction/ Background

Fossil fuel resources are rapidly decreasing and their prices are constantly increasing. Therefore, the use of renewable energy sources, which are a lower-cost and clean option, it is necessary to increase. However, it is an important disadvantage of renewable energy sources in low efficiency in different periods of the year. In this disadvantage and fossil fuels, hybrid energy system designs that can produce electrical energy with more than one renewable energy source to eliminate the damage of fossil fuels are important today.

### Objectives/ Research Purpose

The increasing energy demand for the last year increases the costs of fossil fuels and complies with the environmental approach, increases the needs of the world to renewable energy sources. In order to eliminate this problem, the Net-linked Hybrid Energy System design was designed to meet the energy requirement of the Balıkesir's Erdek district. While performing this design, different scenarios are created and the most optimum option was determined for cost and environmental approach

### Methods/ Methodology

In this study, Balıkesir's Erdek County was determined as a load. To meet the energy requirement of this load, hybrid energy systems were simulated in different scenarios using the components such as mains connection, solar panel, wind turbine, diesel and biogas generators, fuel batteries, electrolysis, hydrogen tank, battery and converter. The optimization results of the designs performed are most optimum system design in terms of cost and environmental approach.

### Results/ Findings

Hybrid energy systems were created in different scenarios in the study. The difference between these generated systems is due to the types of generators used. In addition, the components in which the systems are created remain constant and only changes in capacity values. The on-grid Solar Panel/Wind Turbin/Biogas Generator/Battery hybrid energy system is the most optimal result. With a net current cost of \$176 million, a unit energy cost of \$0.0301 and a renewable energy rate of 100%, it is the optimum result in terms of cost and environmental approach..

### Discussion and Conclusions

As a result of the study, the most optimal system that can be created in Erdek district of Balıkesir has been determined. Until the system is determined, the optimization results of many types of system components are compared and the most cost-appropriate and environmentally damaging system components are tried to be selected. As a result of the analyses, it was determined that the on-grid Solar Panel/Wind Turbin/Biogas Generator/Battery system is the most optimal system among the network connected systems. In addition, the system was compared with the of-grid Solar Panel/Wind Turbin/Diesel Generator/Battery system, which was designed to meet the needs of the same load and has a net present cost of \$165 million and a unit energy cost of \$0.109. When cost analysis was carried out, it was concluded that the networked system was a more suitable choice.



## 1. GİRİŞ

Her geçen yıl artan dünya nüfusu ve teknolojinin hayatın her alanına entegre edilmesi ile birlikte yıllık enerji ihtiyacında artışlar görülmektedir. Bilindiği üzere enerji üretimi ilk olarak fosil yakıt kaynaklarının kullanıldığı sistemler ile yapılmıştır. Her geçen yıl artan enerji talebi ile birlikte de fosil yakıt kaynaklarının kullanımını artırılmıştır. Fosil yakıtların tükenebilir olması ve her geçen yıl daha fazla popülerite kazanmaları fiyatlarının da artmasına sebep olmuştur. Gerçekleşen fiyat artışları ile doğru orantılı olarak birim enerji maliyeti de yükselmiştir. Bu yükselmeler ve yüksek enerji talebi maddi açıdan zararlara sebebiyet vermiştir.

Bu zararlı durumun önüne geçmek adına ülkeler enerji politikalarında değişikliklere giderek yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya başlamışlardır. Bu sayede üretilen enerjinin maliyeti düşmüş, çevreye verilen zararların azaltılması sağlanmıştır. 2020 yılı itibariyle Almanya elektrik üretiminin %23'lük bölümü güneş enerjisinden sağlamaktadır. Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü tarafından derlenen verilere göre Almanya'da 2020 yılı sonunda, 7,55 Teravat-saat (TWh) elektrik üretimi gerçekleşirken, bu üretimde güneş enerjisi santrallerinin payı 1,74 TWh'dır. Almanya'da 2019 yılında 1,05 TWh'lık bölümü güneş enerjisi kaynaklı olmak üzere, 10,63 TWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Almanya'nın yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %55,4 değerlerindedir. Üretimde rüzgâr enerjisinin payı %16,9, biyokütle'nin %11,6, hidroelektriğin ise %4 değerlerindedir. Ayrıca bu üretimde nükleer enerji santralleri %16,2, kömürlü termik santraller %18,4 ve doğal gaz santrallerinin payı %10'dur. Almanya aldığı yeni kararlar 2022'de öngörülen güneş enerjisi kapasitesini 1,9 GW'tan 6 GW'a çıkarmayı hedeflemektedir.

2020 yılı ilk dokuz ayı sonunda Türkiye toplam kurulu gücü 93,2 GW seviyelerine ulaşmıştır. İlk dokuz ay içerisinde 1,912 MegaWatt (MW) civarında gerçekleşen kurulu güç artışı yenilenebilir kaynaklardan elektrik üreten santrallerden meydana gelmiştir. 1,263 MW'lık kurulu güç artışı hidroelektrik santrallerinden sağlanmış, toplam artışın 374 MW'lık kısmı rüzgâr enerjisi santrallerinden (RES), 237 MW'lık kısmı ise güneş enerjisi santrallerinden (GES) kaynaklanmıştır. İlgili dönemde doğal gaz ve çok yakıtlılar kullanarak elektrik üreten santrallerin net toplam kurulu gücü 291 MW azalmıştır. Türkiye'nin Almanya'ya göre çok daha yüksek potansiyelini kullanması durumunda yüksek üretim sağlanabileceği görülmektedir [1]. Güneş enerjisinin yanı sıra Türkiye'nin Ege ve Marmara bölgelerinde de rüzgâr enerjisinden elektrik enerji üretimi de gerçekleştirilmektedir [2].

Güneş ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi yapan sistemler ayrı ayrı kullanıldıkları gibi birlikte de kullanılmaları durumunda Hibrit Enerji Sistemi adı verilen sistemleri oluşturmaktadırlar. Güneşin sağladığı enerjiden sadece gündüz faydalanmak, rüzgâr enerjisinden sağlanan enerjinin sürekli olmaması bu sistemlerin kullanılmasını kısıtlamakta ya da yüksek kapasitelerde kurulup depolama yapılarak sistemin enerji



üretmediği zamanlarda bu depolanan enerjinin kullanılması sağlanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında sektörde öncülük eden güneş ve rüzgâr enerjisinin ortak kullanıldığı hibrit enerji sistemlerine olan talepler gün geçtikçe artmaktadır. Bunun yanında hibrit sistemlerde güneş ve rüzgâr enerjisinin yanında dizel jeneratör sistemlerinin kullanılması sistemde sağlanan enerjinin sürekli olmasını ve bunun yanında gereksiz kapasitede güneş veya rüzgâr enerjisi kurulumunu engeller ve enerji birim maliyetini düşürür.

Ayrıca günümüzde bir binanın veya konutun elektrik ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı özendirilmektedir. Bu konuda yönetmelikler çıkarılmaktadır. Bu bakımdan, yenilenebilir enerji kaynağı olarak da rüzgâr ve güneş enerji kaynaklarının birlikte kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır.

Sarı ve Özyiğit [3] yaptıkları çalışmada, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde PVsyst programını kullanarak polikristal ve monokristal panellerden oluşan 0,999 MW gücünde iki ayrı güneş enerji üretim santrali tasarlamışlardır. Bu iki santral kurulum maliyeti, enerji üretimi ve karlılık yönünden incelenmiştir. Monokristal panellerin kurulum masrafinin polikristal panellerden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın monokristal modül kullanılması durumunda monokristal modül veriminin daha yüksek olması sebebiyle sistem ömrü sonunda getirdiği kazancın daha fazla olacağı tespit edilmiştir. Polikristal paneller kullanılarak oluşturulan sistemlerde ise ilk kurulum maliyetlerinin monokristal panellere göre daha düşük olması sebebiyle daha erken dönüşler gözlemlendiği tespit edilmiştir. Akboy [4] tarafından yapılan çalışmada, 1 kW gücü ve 100 kHz anahtarlama frekansına sahip şebekeye bağlı bir FV sistem kurularak, PSIM programı ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemde 250 W-1.000 W/m<sup>2</sup> ışınım özelliklerine sahip 4 eş panel seri bağlanmıştır. Farklı ışınım ve güç değerleri altında sistem çalıştırılarak şebeke etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda farklı koşullar altında hedeflenen sistemin, ilgili kontrol algoritmalarına bağlı olarak hızlı dinamik cevap verme süresine sahip olduğu ve şebeke tarafında her zaman yüksek güç faktörü elde edildiği gözlemlenmiştir. Saxena ve Gidwani [5] yaptıkları çalışmada, 100 kW gücünde şebeke bağlantılı Hindistan'ın Rajasthan eyaletinin Kota şehrinde çatıya kurulması düşünülen bir güneş enerji santralini PVsyst programı ile analiz etmişlerdir. Verimi % 11,27 olan FV modüller ve verimi % 97,6 olan inverter kullanılarak oluşturulan sistemin yıllık ürettiği enerji 167,8 MWh olarak bulunmuştur. Analiz edilen FV sistemin verimi % 75,7 dir. Aylık olarak üretilen en yüksek enerji 16.437 kWh ile mart ayında, 11.453 kWh ile ağustos ayında olmaktadır. Satish ve arkadaşları [6] yaptıkları çalışmada, Dubai' de 200 kW gücünde şebeke bağlantılı monokristal panellerden oluşan FV sistemin kurulumu ve incelemesini PVsyst programı ile yapmışlardır. Tasarlanan sistem 22 adet seri ve 32 adet paralel bağlanmış toplam 704 adet panelden oluşmaktadır. Sunmodule markalı 285 W gücündeki monokristal paneller 25° lik açı ile yerleştirilmiştir. Sistemin yıllık 352,6 MWh enerji ürettiği belirtilmiştir. Rout ve Kulkarni [7] yaptıkları çalışmada, 2 kW gücünde çatıya



kurulması düşünülen şebekeye bağlı bir FV sistemi PVsyst programı ile oluşturarak analiz etmişlerdir. Panel eğim açısı  $20,3^\circ$  dir. Kullanıcı yüklerinin  $3.244,8$  kWh olduğu, sistemin  $2.962,4$  kWh enerji ürettiği ve aradaki  $33,23$  kWh' lik enerji farkının şebekeden karşılanacağı tespit edilmiştir. Hayati ve arkadaşları [8] çalışmalarında bir kamu binası olan Kozlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nin (Kozlu EML) güneş ve rüzgâr yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik ihtiyacının karşılanması için bir fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. İlk olarak seçilen kamu binasının yıllık elektrik enerjisi giderleri, maksimum ve minimum elektrik enerjisi harcanan aylar ve yıllık ortalama enerji harcaması hesaplanmıştır. Daha sonra da rüzgâr ve güneş hibrit şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji kaynağı sisteminin kurulması için analizler yapılmıştır. Analizler normal hesaplamalar ile yapıldıktan sonra detaylı hesaplamalar için HOMER programı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda,  $36$  kW rüzgâr türbini ve  $23$  kW güneş panelli şebeke bağlantılı hibrit yenilenebilir enerji sisteminin Kozlu EML'nin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabileceği belirlenmiştir. Bu durumda aralık ayında elektrik enerjisinin bir kısmı şebekeden satın alınırken, diğer aylarda şebekeye elektrik enerjisi verebileceği tespit edilmiştir. Bunların sonucunda da kurulan sistemin  $7,8$  yıl sonra kendini amorti edebileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmada ise Balıkesir'in Erdek ilçesinin 2020 yılındaki elektrik tüketim istatistiklerine bakılarak bölgenin enerji ihtiyacının karşılanması için şebeke bağlantılı Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini/Jeneratör/Batarya hibrit enerji sistemi tasarımı HOMER programında gerçekleştirilmiştir. Tasarım senaryolarında kullanılan jeneratör bileşenin 3 farklı türü olan dizel, biyogaz ve yakıt pili kullanılarak sonuçlar irdelenmiştir. Sonuç olarak, maliyet açısından ve çevreci yaklaşıma en uygun sistem tasarımı elde edilmiştir.

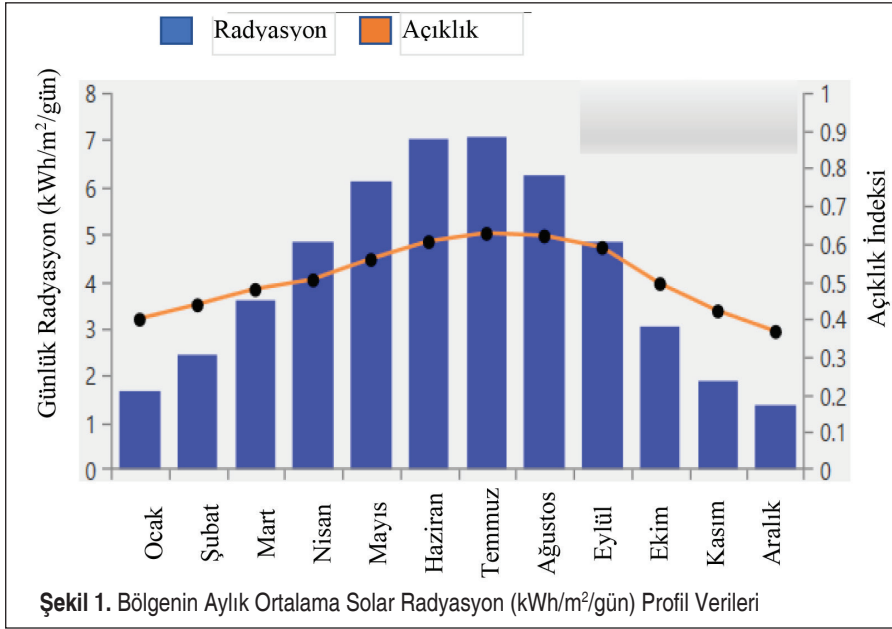
## 2.YÖNTEM

Projenin uygulanacağı yer olarak seçilen yer Türkiye'nin Marmara Bölgesinde bulunan Balıkesir ili Erdek ( $40^\circ 23,9' N$   $27^\circ 47,5' E$ ) ilçesidir. Yapılan araştırmalar ve alınan veriler  $35.000$  nüfuslu bir ilçe için yapılmıştır. Yük olarak belirlenen Erdek ilçesinin tüketim değerleri Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş (UEDAŞ)'nin 2020 yılı sonunda gerçekleştirdiği analiz raporlarından elde edilmiştir. Tablo 1'de analizler sonucu elde edilen aylık enerji tüketim değerleri görülmektedir. Bu veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda bölgenin günlük enerji ihtiyacı  $208.171,27$  kWh, günlük tepe değeri ise  $34.807,11$  kW'dır. Yük profili olarak HOMER programına önceden tanımlanmış ticari tip profil seçilip simülasyona dahil edilmiştir.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi yapacak olan güneş panellerinin üretebileceği enerji miktarı bölgenin meteorolojik verileri ile doğrudan ilgilidir. Bölgenin solar enerji verileri HOMER programına entegre edilmiş olan NASA'nın veri tabanından alınmaktadır. Şekil 1'de de görüldüğü gibi bölgenin solar enerji potansiyeli yaz ay-

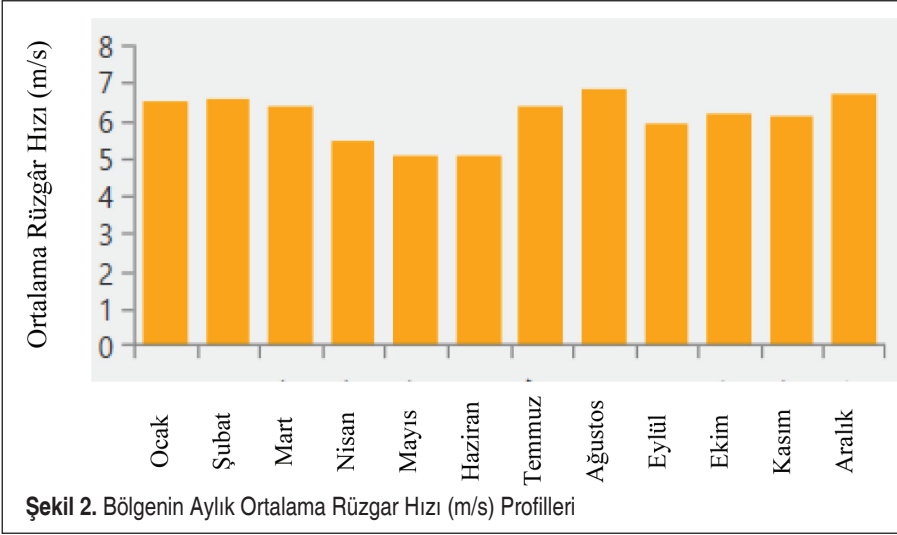
**Tablo 1.** Erdek İlçesi Elektrik Enerjisi İhtiyacı

Tarih	Tüketim (kWh)	Tarih	Tüketim(kWh)
01/2020	6.094.516,38	07/2020	8.134.237,44
02/2020	5.363.467,69	08/2020	9.441.486,41
03/2020	5.186.179,35	09/2020	7.406.112,21
04/2020	4.342.727,23	10/2020	6.679.949,20
05/2020	5.200.203,43	11/2020	5.653.133,68
06/2020	5.422.260,96	12/2020	7.058.241,91



larında daha fazla kış aylarında ise yaz aylarına göre daha azdır. Bununla birlikte yıl genelinde günlük solar enerji potansiyeli 4,17 kWh/m<sup>2</sup> /gün olarak belirlenmiştir.

Rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri çok yüksek olduğundan kurulmadan önce kurulacak bölgenin rüzgâr hızı profili çok önemlidir. Bölgenin rüzgâr hızı profili güneş enerjisi potansiyelinde olduğu gibi NASA'nın veri tabanından alınmış ve ortalama rüzgâr hızı 6,08 m/s olduğu gözlemlenmiştir. Kış aylarında solar enerjinin yetersiz kalabileceği durumlarda rüzgâr enerjisinin bu eksikleri tamamlayıcı enerji kaynağı



Şekil 2. Bölgenin Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s) Profilleri

olacağı ve ikisinin birbirini tamamlayacağı aşıkardır. Bu özelliklerinden dolayı da hibrit sistemlerde en çok tercih edilen iki enerji kaynağı olmuşlardır. Bölgenin rüzgâr hızı profili de Şekil 2’de gösterilmiştir.

## 2.1 Hibrit Sistem Modellemesinde Kullanılan HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables) Programı

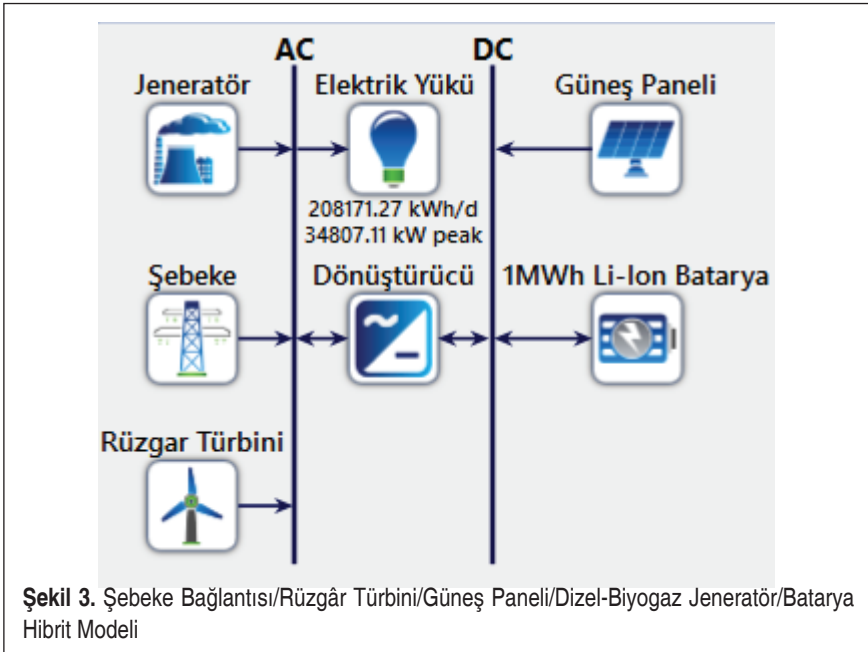
Homer, mikro güç optimizasyonu modeli NREL(National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmiş, mikro güç sistemlerinin tasarımı ve farklı güç sağlayıcılarının değişik kombinasyonları ile en uygun bütçeli sistemin bulunmasını sağlayan programdır. Homer, dünyanın en gelişmiş mikro-şebeke modelleme yazılımıdır. Sistemlerin fiziksel davranışlarını, işleme maliyeti ve kurma maliyeti toplamı olan yaşam boyu maliyeti ve enerji birim maliyetini farklı kombinasyonlar için bulunmaktadır. Genellikle elektrik üretimi için kullanılsa da ısı üretimi uygulamaları da vardır. Enerji depolamalı/depolamasız şebekeye bağlantılı/bağlantısız modelleri ayrı ayrı incelenebilir. Yani kısaca HOMER programı dünyanın farklı yerlerinde çeşitli hibrit enerji sistem modelleri geliştirilmiş ve bu modeller sayesinde ilgili coğrafik bölge için en uygun maliyetli hibrit enerji sistemini bulabilir. Bunu yaparken de kendi içerisinde bulundurduğu farklı hassasiyet analizleri sonucunda da olası durumlarda hangi hibrit enerji sisteminin daha uygulanabilir olduğuna dair bilgileri bizlere sunar. Yazılım, en iyi sistemi tasarlamaya yardımcı olmak için talep ve arz arasında optimum durumu sağlamak için yüzlerce verileri uzun saatler sürebilecek simülasyonlar gerçekleştirebilir.

## 2.2 Hibrit Sistemin Bileşenleri

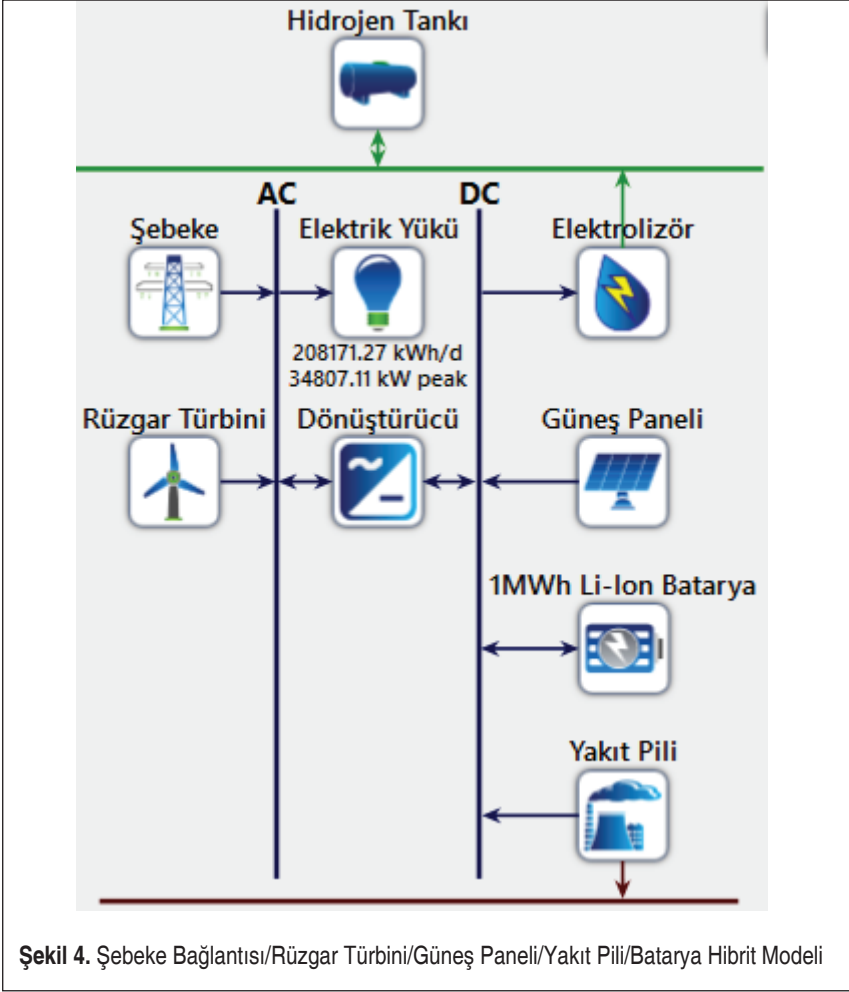
Hibrit sistemin temel bileşenleri Güneş panelleri, rüzgar türbini, dizel jeneratör, biyogaz jeneratörü, yakıt pili, invertörler ve bataryalar oluşturmaktadır. Evirici, gücün yönüne bağlı olarak elektrik gücünü AC veya DC'den dönüştürmek içindir. Sistemin AC bir akıma ihtiyacı vardır ve pilin de şarj olması için DC'ye ihtiyacı vardır. Bu güç kontrolünü ve dönüşümü optimize etmek için invertör eklenir. Dizel jeneratör, biyogaz jeneratörü ve yakıt pili, diğer tüm bileşenlerde eksiklik olduğu zaman devreye giren sistem elemanı olarak sisteme eklenebilir. Bütün bu bileşenler sisteme entegre edilmiş ve Homer programında simüle edilmiştir. Şekil 3-4'de sistemin farklı senaryolara ait Homer şematik diyagramı verilmiştir.

### 2.2.1 Güneş Paneli

Güneş paneller, güneş ışınlarının üzerlerine düşmesi ile elektrik üretimi gerçekleştiren ve hareketli aksanlarının olmamasından dolayı düşük maliyete sahip sistemlerdir. Türkiye'nin de güneş enerji potansiyelinin yüksek olması ile tercih edilebilecek en uygun yenilenebilir enerji sistemi güneş paneller olmaktadır. HOMER programının kullanımı ile tasarlanacak sistemde düz plaka güneş panel tercih edilmiştir. Panel maliyeti ise 1 kW için 500\$, yenileme maliyeti 500\$ ve bir yıl için operasyon ve bakım maliyeti ise 17 \$ olarak kabul edilip simülasyona dahil edilmiştir.







### 2.2.2 Rüzgâr Türbini

Rüzgâr türbinleri, kanatlarına çarpan rüzgâr ile mekanik enerji üreten ve bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Rüzgâr türbinleri maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı seçimlerinde dikkatli olunmalıdır. Sistem tasarımında birçok türbin test edilip en uygun seçeneğin bulunması için çalışılmıştır, bu çalışma sonucu sisteme entegre edilebilecek en uygun türbin Leitwind 80 modeli olacağına karar verilmiştir. Türbin 60 ile 80 metre aralığındaki gövde yüksekliğinde en yüksek verimi vermektedir. Bundan dolayı simülasyonda gövde yüksekliği olarak 65 metre tercih edilmiştir.

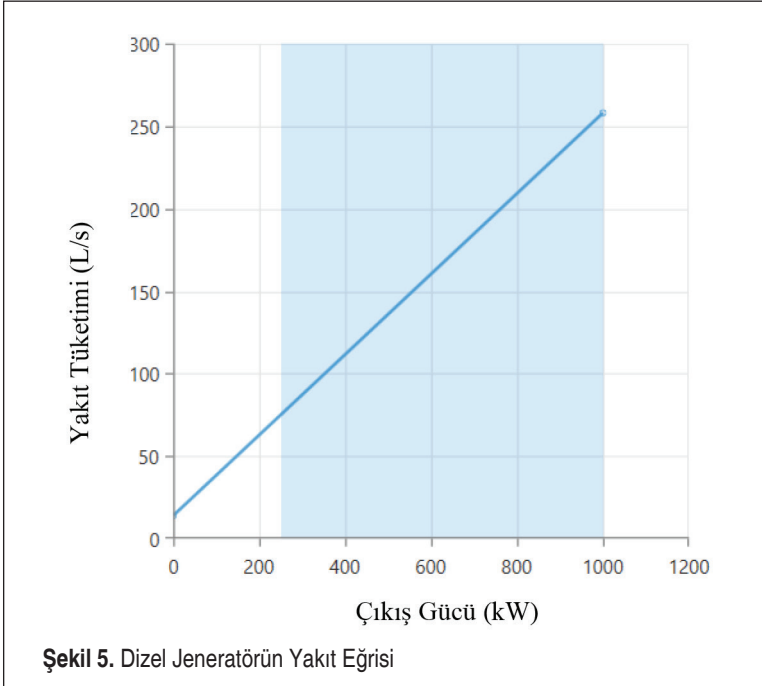
**Tablo 2.** Rüzgâr Türbininin Rüzgâr Hızlarına Dayalı Çıkış Gücü

Rüzgâr Hızı (m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Güç Çıkışı (kW)	19	70	157	286	459	650	764	800	800	800

Tablo 2’de rüzgâr hızlarına göre türbinden elde edilebilecek çıkış güçleri görülmektedir. Bölgenin rüzgâr hızı ortalama 6,08 m/s olduğu için türbinden yaklaşık olarak 286 kW’lık bir çıkış gücü elde edilecektir.

### 2.2.3 Batarya

Batarya, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürüp depolanmasını sağlayan ve gerekli durumlarda kimyasal enerjiden elektrik enerjisi elde edip ihtiyacı karşılayan sistem bileşenidir. Bataryalar enerjiyi DC gerilimde depolamaktadır veya sisteme aktarmaktadır [9]. Simülasyon seçeneği olarak yük izleme ve döngü şarj stratejisi seçenekleri tercih edilmiştir. Rüzgâr türbini gibi bataryalar da sistem maliyetini oldukça arttıran bir bileşen olduğu için batarya sayısının sisteme olan etkisi oldukça önem arz etmektedir. Sistemde kullanılan batarya tipi tespit edilirken çeşitli bataryaların simülasyon sonuçlarına bakılmış ve entegre edilebilecek en uygun batarya tipi tercih edilmiştir. Bu analizler sonucu sistemde tercih edilen batarya 1000 kWh lityum-iyon bataryadır. Bataryanın maliyeti 137.000 \$, yenileme maliyeti 137.000 \$, yıllık ope-



rasyon ve bakım maliyeti ise 100 \$ olarak kabul edilip simülasyona dahil edilmiştir. Bataryanın deşarj derinliği ise %80 olarak sistemde kullanılmıştır.

### 2.2.4 Jeneratör

Jeneratör, kullanılan yakıtın yakılması ile ortaya çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren ve buradan da elektrik enerjisi elde eden sistem bileşenidir. Jeneratörler kullandıkları yakıtlara göre çeşitlilik göstermektedirler. Bu çalışmada, dizel ve biyogaz jeneratör kullanılmaktadır.

#### 2.2.4.1 Dizel Jeneratör

İlk olarak sistemde kullanılan dizel jeneratördür. Yakıtın litre başına fiyatı ise 0,813 \$ olarak kabul edilerek simülasyona dahil edilmiştir. Şekil 5'te ise jeneratörün tüketeceği yakıtta göre elde edeceği çıkış gücü görülmektedir. Tablodan görüldüğü üzere yüksek çıkış gücü değerleri için fazla miktarda yakıtta ihtiyaç duyulmaktadır. Buda maliyeti arttıracaktır. Bu sebepten dolayı jeneratör ihtiyaç halinde devreye alınmaktadır.

Dizelin yakıt tüketimi jeneratör kendi çıkış gücüne dayanır ve denklem 1 ile ifade edilir [10].

$$q(t) = a \cdot P_{DG}(t) + b \cdot P_r \quad (1)$$

(i)  $P_{DG}(t)$  : DG (kW) tarafından t (saatte) üretilen güç

(ii)  $q(t)$  : Yakıt tüketimi (L / s)

(iii)  $P_r$ : DG'nin ortalama gücü ve a, b sabitlerdir (L / kW) ve standart olarak yakıt tüketimi parametrelerini sembolize eder. Sırasıyla 0,246 ve 0,08415 değerleri.

Sistemde tercih edilen dizel jeneratörün 1 kW için maliyeti 175 \$ olarak bulunmuştur. Sistemde 1 MW kapasiteli versiyonu kullanılacağı için maliyeti 175.000 \$, yenileme maliyeti 175.000 \$, operasyon ve bakım maliyeti ise bir yıl için 3.000 \$ olarak simülasyona dahil edilmiştir.

#### 2.2.4.2 Biyogaz Jeneratörü

Sistemde dizel jeneratörden sonra tercih edilen bir diğer jeneratör tipi ise biyogaz jeneratörüdür. Biyogaz jeneratörünün yakıtı hayvansal atıklardan elde edilmektedir. Seçilen yük bölgesinde yaklaşık olarak 5000 adet büyükbaş, 8300 adet küçükbaş hayvan bulunmaktadır. Bir yıl için değerlendirildiğinde büyükbaş hayvandan 3,6 ton gübre ve 1 ton gübreden 33 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilirken, küçükbaş hayvandan bir yılda 0,7 ton gübre ve 1 ton gübreden 58 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmektedir [11]. Bu bilgilerden yararlanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda bölgede 1 gün için 65,23 ton hayvansal atık kaynağı mevcuttur. Yakıt olarak kullanılan hayvansal atıkların 1 ton için maliyeti 17,64 \$ olarak hesaplanıp simülasyona dahil edilmiştir. Tercih edilen biyogaz jeneratörünün 1 kW için maliyeti 1000\$, yenileme maliyeti 1000 \$, operasyon ve bakım maliyeti 1 yıl için 0,020 \$ olarak hesaplanmıştır. Sistemde 1 MW kapasiteli jeneratör kullanıldığı için maliyeti 1.000.000 \$, yenileme maliyeti 1.000.000 \$ olmaktadır.



### 2.2.5 Yakıt Pili

Yakıt pili anot, katot ve elektrolit bileşenleri ile yakıttan elektrik ve ısı üreten elektrokimyasal sistem bileşenidir. Yakıt pilinde kaynak olarak hidrojen kullanılmaktadır. Tercih edilen yakıt pilinin 1 kW için maliyeti 2000 \$, yenileme maliyeti 2000 \$, operasyon ve bakım maliyeti 366 \$ olarak hesaplanmıştır.

### 2.2.6 Elektrolizör

Elektrolizör, elektroliz işlemini gerçekleştiren ve bu işlem sonucunda hidrojen oluşumunu sağlayan sistem bileşenidir. Temel mantığı elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çeviren cihazdır. Sistemde kullanılan Elektrolizör 1 kW için maliyeti 1500 \$, yenileme maliyeti 641,61 \$, operasyon ve bakım maliyeti ise 100 \$ olarak kabul edilip simülasyona dahil edilmiştir.

### 2.2.7 Hidrojen Tankı

Elektrolizörde elde edilen hidrojeni depolamaya yarayan en basit yöntem hidrojen tank kullanımudur. Hidrojen, hidrojen tankında sıkıştırılmış gaz halinde depolanmaktadır. Tankın 1 kg için maliyeti 130 \$, yenileme maliyeti 130 \$, operasyon ve bakım maliyeti 10 \$ olarak hesaplanmıştır [12]. Tank boyutu olarak 0 kg, 100 kg ve 1000 kg tercih edilip simülasyona dahil edilmiştir, bunun sebebi ise entegre edilebilecek en iyi tercihin bulunmasıdır.

### 2.2.8 Dönüştürücü

HOMER programına göre dönüştürücü, AC ve DC gerilimler arasındaki dönüşümü sağlayan sistem bileşenidir. DC ve AC bileşenleri arasındaki enerji akışını sürdürmek için hibrit rüzgâr/güneş paneli/batarya güç sistemi için bir güç dönüştürücü gereklidir. Bu sistemde dönüştürücünün veriminin %90 olduğu varsayılmaktadır [13]. Sistemde kullanılan konvertör maliyeti 256\$, yenileme maliyeti 256\$ ve işletme ve bakım maliyeti 3\$/yıl olarak kabul edilerek simülasyona dahil edilmiştir.

### 2.2.9 Şebeke Bağlantısı

Şebeke bağlantısı, sistemin ürettiği enerjinin yükün ihtiyacını karşılayamadığı durumlarda yüke elektrik satın ihtiyacın karşılanmasına ya da sistemin ürettiği fazla elektriği şebekeye satarak gelir elde edilmesini sağlayan sistem bileşenidir. Şebekeden elektrik satın alınması durumunda 1 kWh için maliyet 0,0648 \$, şebekeye elektrik satılması durumunda ise kazanç 1 kWh için 0.0367 \$ olarak kabul edilip simülasyona dahil edilmiştir.

### 2.2.10 Ekonomik Analiz Girdileri

HOMER programında gerçekleştirilen simülasyonlarda maliyet hesabı için yıllık gerçek faiz oranı kullanılmaktadır. Gerçek faiz oranını elde etmek için ise güncel faiz oranından ve enflasyon değerinden yararlanılmaktadır. Yıllık gerçek faiz oranının hesabı ise şu şekilde yapılmaktadır [14].

$$i=(i^f-f)/(1+f)$$

(1)

Burada;

i: Yıllık gerçek oranı

f: yıllık enflasyon oranı

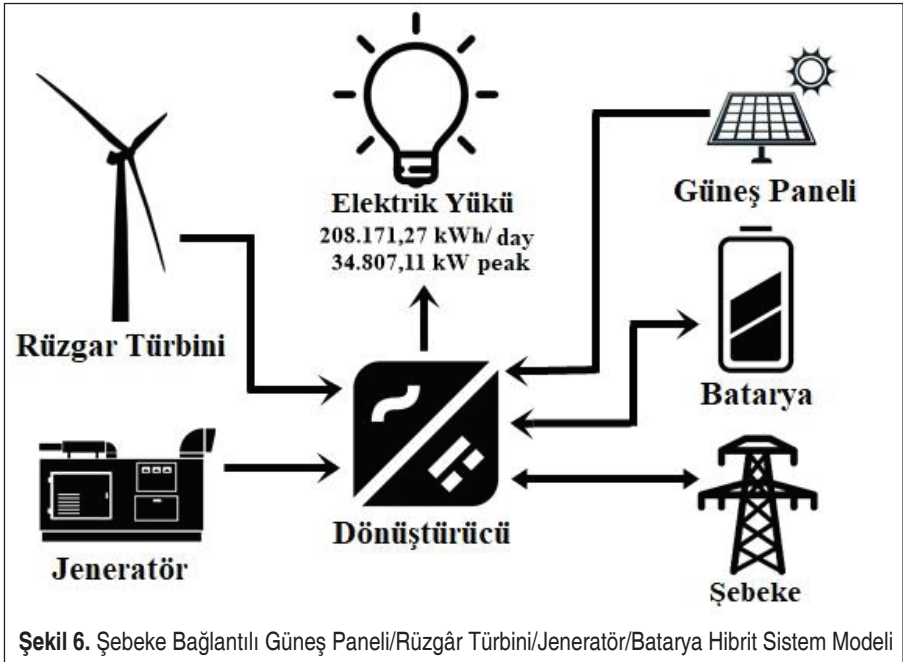
i<sup>f</sup>: güncel faiz oranı

Sistemin faiz oranının %19 ve enflasyon değerinin %17,14 olması durumunda elde edilen yıllık gerçek faiz oranı %1,59 olarak bulunup simülasyona dahil edilmiştir. Sistem ömrü 25 yıl olarak kabul edilmiştir.

### 2.3 Hibrit Enerji Sistemi Modeli

HOMER programı bir enerji sistemi tasarımının gerçekleştirilmesinde ve analizlerinin yapılmasında kullanılan bir yazılımdır. HOMER programında sistem tasarlanırken ilk olarak seçilen bölgenin enerji ihtiyacı ve enerji potansiyelleri belirlenmelidir, daha sonrasında sisteme eklenecek bileşenler seçilip maliyet, verim gibi gerekli sayısal değerleri girilmelidir. Gerçekleştirilen bu adımlar sonunda programa yaptırılan hesaplama ile tasarlanan sistemin bölgenin enerji ihtiyacını karşılayıp karşılayamadığına ve maliyet açısından uygulanabilirliğine karar verilmektedir.

Tasarlanmak istenen şebeke bağlantılı hibrit enerji sisteminin genel modeli Şekil 6'da



yer almaktadır. Sistemi besleyen 5 adet bileşen bulunmaktadır. Ana bileşenler güneş paneller ve rüzgâr türbini, yardımcı bileşenler ise jeneratör, batarya ve şebeke bağlantısıdır. Dönüştürücü ise AC gerilim ile çalışan rüzgâr türbini, şebeke ve jeneratörün DC gerilime çevrilmesini sağlamak amacı ile sisteme dahil edilmiştir.

Sistem senaryolarının değişmesi ile sistem modelinde sadece jeneratör türü değişeceği için oluşturulan her bir senaryoyu Şekil 3'te gösterilen model temsil etmektedir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Balıkesir'in Erdek ilçesinin 2020 yılı elektrik tüketim değerlerini karşılayacak hibrit enerji sistemi Materyal ve Metot bölümünde tanımlanan verilerin simülasyona dahil edilmesi ile oluşturulmuştur. Şebeke bağlantılı farklı sistem senaryolarının optimum simülasyon sonuçları Tablo 3'te, şebeke bağlantısız hibrit enerji sistemine ait farklı senaryoların simülasyon sonuçları ise Tablo 4'te yer almaktadır.

Bilindiği üzere sistem senaryolarında kullanılan bileşenler Şebeke Bağlantılı/Rüzgâr Türbini/Güneş Paneli/Jeneratör/Batarya olarak tercih edilmiştir. Bu bileşenlerden ise jeneratör tercihlerinde değişimler yapılarak en optimum sistem tespit edilmiştir. Senaryo 1'de dizel jeneratör, senaryo 2'de biyogaz jeneratörü ve son sistem olan senar-

**Tablo 3.** Şebeke Bağlantılı Hibrit Enerji Sistemi Optimizasyon Sonuçları

Senaryo	Güneş Paneli (kW)	Rüzgâr Türbini (kW)	Jeneratör (kW)	Pil (MWh)	Çevirici (kW)	Optimizasyon Stratejisi	Net Bugünkü Maliyet (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)
1	121.786	800	1.000	196	31.286	Yük Takip	165 M	0,109
2	181.481	800	1.000	454	37.463	Döngü Şarj Stratejisi	272 M	0,175
3	173.842	800	250	522	31.594	Yük Takip	271 M	0,181

**Tablo 4.** Şebeke Bağlantısız Hibrit Enerji Sistemi Optimizasyon Sonuçları

Senaryo	Güneş Paneli (kW)	Rüzgâr Türbini (kW)	Jeneratör (kW)	Pil (MWh)	Çevirici (kW)	Optimizasyon Stratejisi	Net Bugünkü Maliyet (\$)	Birim Enerji Maliyeti (\$)
1	121.786	800	1.000	196	31.286	Yük Takip	165 M	0,109
2	181.481	800	1.000	454	37.463	Döngü Şarj Stratejisi	272 M	0,175
3	173.842	800	250	522	31.594	Yük Takip	271 M	0,181

**Tablo 5.** En Uygun Hibrit Sistem Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

	<b>Senaryo 1 (Birimler: kg/yıl)</b>
Karbondioksit	361.469
Karbon Monoksit	0
Yanmamış Hidrokarbonlar	0
Partikül Madde	0
Kükürt Dioksit	1.567
Azot Oksit	766

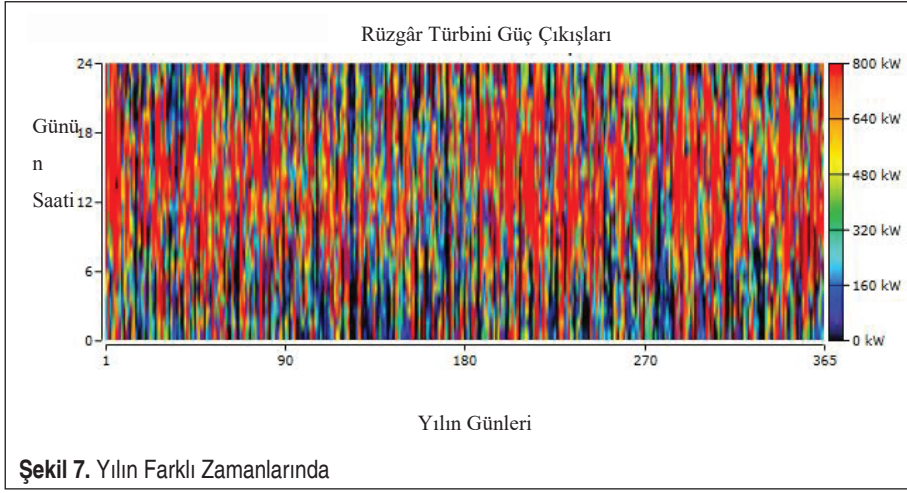
yo 3 'te ise yakıt pili kullanılmıştır. Senaryoların sonuçlarına bakılacak olursa 176 milyon \$ net bugünkü maliyet ve 0,0301 \$ birim enerji maliyeti ile Şebeke Bağlantılı Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini/Biyogaz Jeneratörü/Batarya hibrit enerji sistemi maliyet açısından en optimum sistem olduğu sonucuna varılmaktadır.

Sistemlerin maliyet sonuçlarının yanı sıra senaryoların emisyon değerleri de çevreye verilen zararların azaltılması adına önem arz etmektedir. Tablo 5'te senaryo 1'in emisyon değerleri görülmektedir. Senaryo 1 ürettiği elektrik enerjisinin %99,2'lik kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlarken, senaryo 2 ve 3'te ise emisyon değerleri 0'a çok yakın değerler çıktığı için HOMER, sistemlerin ürettiği enerjiyi %100 yenilenebilir enerji kaynaklarından ürettiği sonucuna varılmaktadır. Arada çok az bir fark olmasına rağmen senaryo 2 hem maliyet açısından hem de çevreci yaklaşım açısından tasarlanan en optimum sistem olarak ortaya çıkmaktadır.

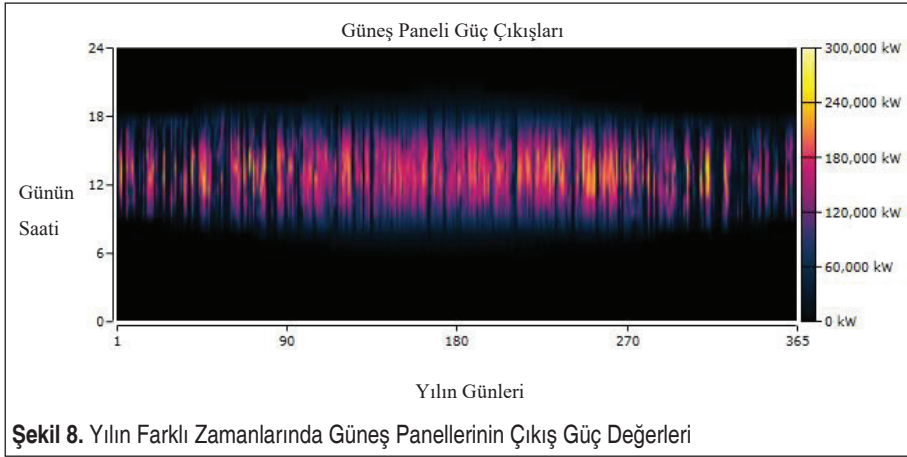
### 3.1 Sistem Bileşenlerinin Optimizasyon Sonuçları

Oluşturulan senaryoların optimizasyon sonuçları kadar sistemlerde kullanılan bileşenlerin optimizasyon sonuçları da önem arz etmektedir. Bu sonuçların detaylı incelenmesi ile sistem sonuçlarına olumsuz etki eden bileşenlerin tespit edilmesi gerçekleştirilmektedir.

Şekil 7'de senaryo 2'de kullanılan rüzgâr türbini 'nin yılın farklı gün ve saatlerindeki çıkış gücü değerleri görülmektedir. Grafikte görülmekte olan değerlerin değişimi rüzgâr hızı ve sistemin elektrik üretimi ihtiyacı ile bağlantılıdır. Rüzgâr türbini bir yılda 7752 saat çalışıp 3.987,422 kWh/yıl elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Ürettiği elektriğin birim maliyeti ise 0,0241 \$/kWh olmaktadır, bu değerden yola çıkarak rüzgâr türbini 'nin sisteme olumlu etkileri olduğu görülmektedir.

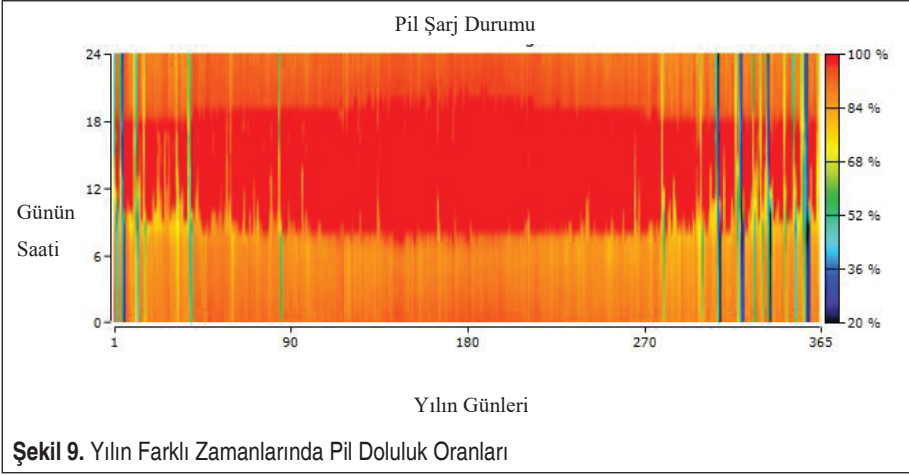


Şekil 8'de ise senaryo 2'de kullanılan güneş panellerden elde edilen çıkış gücü değerleri görülmektedir. Panellerden elde edilen en yüksek verim beklendiği gibi güneş ışınlarının dünyaya en fazla ulaştığı öğlen saatlerinde elde edilmektedir. Yine beklendiği gibi kış aylarında çıkış gücünde düşüşler yaşanmaktadır. Güneş panelleri bir yılda 4389 saat çalışıp toplamda 329.671,944 kWh/yıl elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Panellerin ürettiği elektriğin birim maliyeti ise 0,0307 \$/kWh olmaktadır.



Şekil 9'da senaryo 2'de kullanılan bataryaların yılın farklı gün ve saatlerindeki doluluk oranları görülmektedir. Güneş panellerin en yüksek verimde çalıştığı öğlen saatlerinde doluluk oranları %100 seviyelerinde olurken, günün diğer saatlerinde %30 değerlerine kadar indiği görülmektedir. Buna rağmen bataryaların minimum doluluk



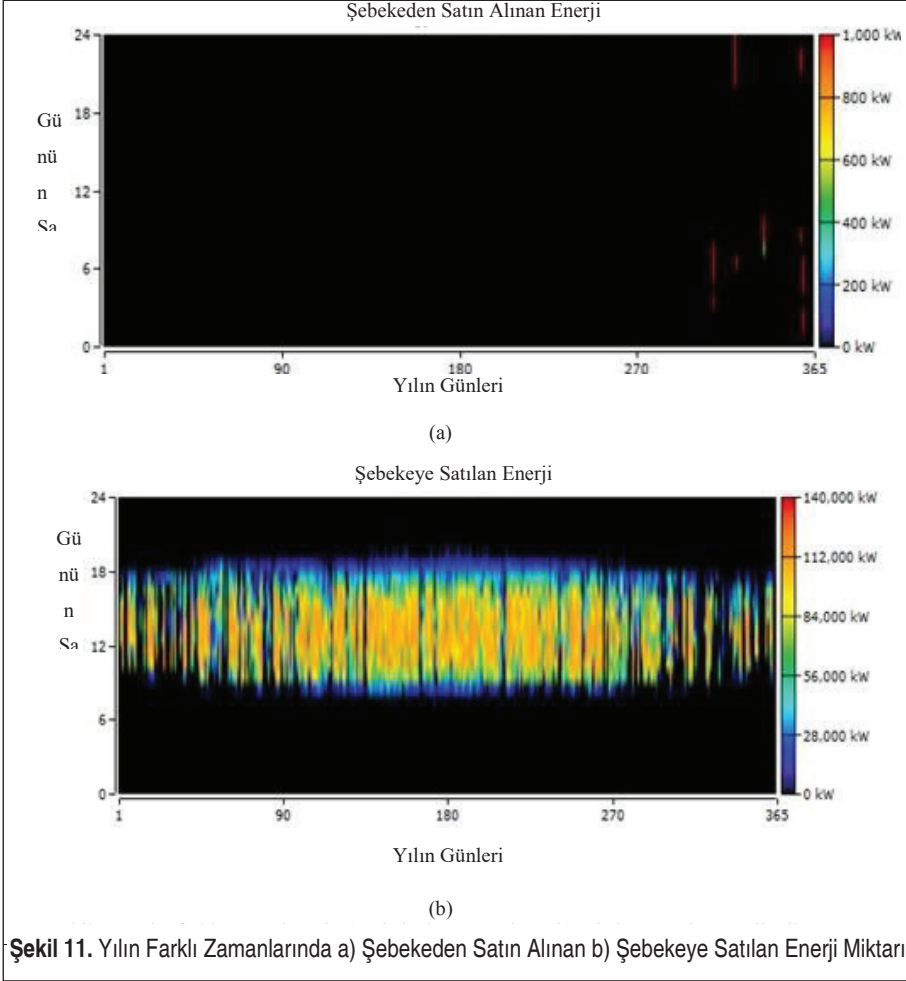


oranına neredeyse hiç inmemeleri sistemde yeterli sayıda kullanıldıklarını göstermektedir.

Şekil 10'da ise senaryo 2'de kullanılan biyogaz jeneratörünün yılın farklı gün ve saatlerindeki çıkış gücü değerleri gösterilmektedir. Sistemde batarya ve şebeke bağlantısının kullanılması jeneratörden üretilen elektrik enerjisine olan ihtiyacı da azaltmaktadır. Bu durum grafikte de açıkça görülmektedir. Biyogaz jeneratörü bir yılda 67 saat çalıştırılmış ve 67.000 kWh elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Ürettiği enerjinin birim maliyeti ise 0,00615 \$/kWh olmaktadır.

Şekil 11'de senaryo 2'nin şebekeden aldığı ve şebekeye sattığı elektrik miktarlarının yılın farklı zamanlardaki değerleri görülmektedir. Sistemin bir yılda şebekeden aldığı



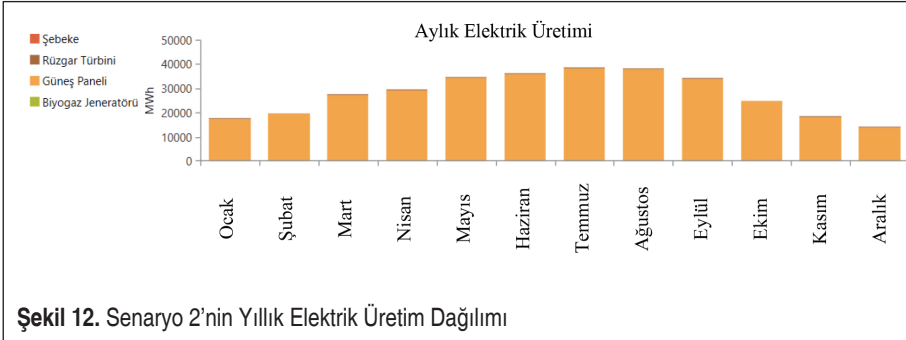


enerji miktarı toplamda 19.556 kWh iken, şebekeye sattığı miktar 210.350,967 kWh olmuştur. Buradan sistem bileşenlerinin ürettiği elektrik miktarının çoğu zaman yükün ihtiyacını karşıladığı hatta fazla üretimin gerçekleştirildiği ve şebekeye satılarak kar edildiği tespit edilmiştir.

Şekil 12'de senaryo 2'nin sistem bileşenlerinin aylık olarak üretim dağılımı yer almaktadır. Tablo6'da ise toplam elektrik üretiminin değerleri görülmektedir, bunların yanında bileşenlere göre elektrik üretim grafiği de verilmektedir. Buradan sistemin bir yıllık üretiminin %98,8 gibi yüksek bir payını güneş panellerin karşıladığı, %1,19'luk payı rüzgâr türbininin karşıladığı, %0,0201'lik payı biyogaz jeneratörünün ve %0,00586'lık payı da şebekeden satın alınan elektrik miktarının karşıladığı görülmektedir.

**Tablo 6.** Senaryo 2 'nin Elektrik Üretim ve Tüketim Bilgileri

Üretim	kWh/yıl	%	Tüketim	kWh/yıl	%	Miktar	kWh/yıl	%
Güneş Paneli	329.671,944	98,8	AC Birincil Yük	75.951,950	26,5	Fazla Elektrik	30.912,073	9,26
Dizel	67.000	0,0201	DC Birincil Yük	0	0	Karşılammamış Elektrik Yükü	30.563	0,0402
Rüzgâr Türbini	3.987,422	1,19	Ertelenabilir Yük	0	0	Kapasite Sıkıntısı	67.814	0,0892
Şebekeden satın alınan	19.556	0,00586	Şebeke Satışları	210.350,967	73,5	Yenilenebilir Fraksiyon		100
Toplam	333.745,922	100	Toplam	286.302,917	100	Maksimum Yenilenebilir		1,683

**Şekil 12.** Senaryo 2'nin Yıllık Elektrik Üretim Dağılımı

### 3.2 Batarya Kullanımının Sistem Sonuçlarına Etkisi

Tablo 7'de senaryoların batarya kullanım sayıları ve maliyet farkları verilmektedir. Bilindiği üzere bataryalar yüksek maliyetli cihazlardır bu yüzden sistemlerde kullanılacak batarya sayısının seçimi önem arz etmektedir. Tabloda görüldüğü üzere batarya sayısının artması da net bugünkü maliyet ve birim enerji maliyetinde de artışlara sebep olmaktadır.

Bölüm 3 ve 3.1'de gerçekleştirilen incelemeler sonucunda sistemlerde kullanılan batarya sayısındaki artış şebeke bağlantısız sistemlerde olduğu gibi şebeke bağlantılı sistemlerde de net bugünkü maliyet değerinde artışlara sebep olmaktadır. Fakat sistemlere entegre edilen şebeke bağlantısı ile üretilen fazla enerji satılarak birim enerji maliyeti düşürülmektedir. Böylece senaryo 2 ve senaryo 3 tercih edilebilir sistem tasarımlarını temsil edebilmektedir.

**Tablo 7.** Pil Kullanımının Sistem Sonuçları Üzerindeki Etkisi

Senaryo	Batarya	Net bugünkü Maliyet	Birim Enerji Maliyeti
1	233 MWh	162 M \$	0,107 \$
2	295 MWh	176 M \$	0,0301 \$
3	308 MWh	180 M \$	0,0305 \$

#### 4. SONUÇ

Çalışmada Balıkesir 'in Erdek ilçesinin 2020 yılındaki aylık tüketim değerlerini karşılamak amacıyla ile HOMER programında şebeke bağlantılı hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır. Sistem tasarımı gerçekleştirilirken farklı senaryoların sonuçları karşılaştırılmış ve en optimum sistem belirlenmiştir. Senaryoları oluşturan sistem bileşenleri şebeke bağlantısı, Güneş paneller, rüzgâr türbini, biyogaz ve dizel jeneratörleri, yakıt pili, elektrolizör, hidrojen tankı, dönüştürücü ve bataryalardır. Senaryolar arası oluşan farklar kullanılan jeneratör tiplerinden kaynaklanmaktadır. Her bir senaryoda jeneratör tiplerinin değiştirilmesi ile yükümüzün ihtiyacını karşılayacak optimum sistem bulunmuştur. Yapılan analizler sonucu şebeke bağlantılı Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini/Biyogaz Jeneratörü/Batarya hibrit enerji sistemi 176 milyon \$ net bugünkü maliyet ve 0,0301 \$ birim enerji maliyeti ile ve maliyet analizinin yanı sıra %100 yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapması ile çevreci yaklaşım açısından da en optimum sistem olduğu kararlaştırılmıştır. Balıkesir'in Erdek ilçesi için gerçekleştirilen şebeke bağlantısız hibrit sistem tasarımı çalışmasında en optimum sistem, 165 milyon \$ net bugünkü maliyet ve 0,109 \$ birim enerji maliyeti ile şebeke bağlantısız Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini/Dizel Jeneratör/Batarya sistemidir. Şebeke bağlantılı ve bağlantısız sistemleri karşılaştırdığımızda ise net bugünkü maliyet bakımından şebeke bağlantısız sistem daha az maliyetli olsa da birim enerji maliyeti açısından şebeke bağlantılı sistem daha uygun bir seçenek olmaktadır. Bu karşılaştırmada da şebeke bağlantılı Güneş Paneli/Rüzgâr Türbini/Biyogaz Jeneratörü/Batarya hibrit enerji sistemi, en optimum sistem tasarımı temsil etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerinin kurulmadan önce fizibilite çalışmalarının ciddi bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bunun için sistem kurulmadan önce o bölgenin güneş ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi gereklidir. Aynı zamanda ihtiyaç olan elektrik yükünün detaylıca belirlenmesi de önemli bir unsur teşkil etmektedir. Hibrit enerji sistemleri, bölgenin meteorolojik verileri ve sistemin elektrik yükünün değişimi doğrultusunda, sistemlerin konfigürasyonu değişmesiyle birlikte ekonomik açıdan da değişiklikler göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada yapıldığı gibi detaylı bir analiz gerektirmektedir. Bu çalışmada, yenilenebilir kaynaklı enerjilerin, sistem konfigürasyonları ele alınmış ve en uygun çözüm bulunmuştur.

## KAYNAKÇA

1. <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2020.pdf> [Erişim tarihi 19 Ağustos 2021].
2. **Tabak, A.** 2021. Analysis and Design of a Hybrid Energy Production System to Meet the Energy Demand of a Plant in Konya. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13 (1), 220-230. DOI: 10.29137/umagd.794898
3. **Sarı, V., Özyiğit, F.Y.** 2020. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Santralinin Ekonomik Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(65), 517-526
4. **Akboy, E.** 2019. Yüksek Güç Faktörlü Şebeke Bağlı Bir PV Sistemin Modellenmesi ve Farklı Işımlar Altında Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 794-802
5. **Saxena, G., Gidwani, L.** 2018. Estimation of Energy Production of Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic System at Nagar Nigam Kota, Rajasthan. 2018 3rd International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH), 45-49.
6. **Satish, M., Santhosh, S., Yadav, A.** 2020. Simulation of a Dubai Based 200 KW Power Plant Using PVsyst Software. 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN) (824-827)
7. **Rout, K. C., Kulkarni, P. S.** 2020. Design and Performance Evaluation of Proposed 2 kW Solar PV Rooftop on Grid System in Odisha Using PVsyst. 2020 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS) (1-6).
8. **Mamur H., Yakar M. C., Zerafet A.** 2019. Bir Kamu Binası İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilitesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 11(1), 51-58.
9. **Salihoglu, N. K., Teksoy, A., & Altan, K.** 2019. Determination of Biogas Production Potential from Cattle and Cattle Wastes: Example of Balıkesir Province. *Nigde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 8(1), 31-47.
10. **Kharrich M., Mohammed O., Akherraz M.** 2020. Design of Hybrid microgrid PV/wind/diesel/battery system: case study for Rabat and Baghdad. *EAI Endorsed Trans Energy Web*. <https://doi.org/10.4108/eai.13-7-2018.162692>
11. **Dursun, S.** 2016. Techno-Economic Evaluation of Kırklareli University Kayali Campus using Biomass-Wind-Solar Hybrid Power Generation System (Master's thesis, Kırklareli University institute of science).
12. **Khadem, T., Billah, S. B., Barua, S., & Hossain, M. S.** 2017. Homer based hydrogen fuel cell system design for irrigation in bangladesh. In 2017 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE) (pp. 445-449). IEEE.
13. **Lau KY, Yousof MFM, Arshad SNM, Anwari M., Yatim AHM.** 2010. Performance analysis of hybrid photovoltaic/diesel energy system under Malaysian conditions. *Energy*;35(8):3245e55.
14. **Güven, A., Poyraz, E.** 2021. Feasibility Study and Techno-Economic Analysis of Stand-Alone Hybrid Energy System for Muğla Province Köyceğiz. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (1), 70-85. DOI: 10.31466/kfbd.880437