



# **Sinop Koşullarında Minimum Maliyetli Hibrid Enerji Sistemi Tasarımı**

## **Design of a Minimum Cost Hybrid Energy System under Sinop Conditions**

**Hamza Çelik, Mert Ayazma, Arda Kadircan Bicek**

*Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yalova/Merkez  
Yalova University Engineering Faculty Electrical and Electronics Engineering, Yalova/Merkez*

### **Özet**

Bu çalışma, Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerinden biri olan Sinop ilinde, şebeke bağlantılı hibrit bir yenilenebilir enerji sisteminin teknik ve ekonomik analizini sunmaktadır. Araştırmanın temel amacı, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak bir konutun enerji ihtiyacını en düşük maliyetle karşılamaktır. Analizler, HOMER Pro yazılımı kullanılarak Sinop'un güneş ışınımı ve rüzgar hızı verileri içe aktarılıp bu değerler baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Denenen farklı senaryolar sonucu en uygun sistem tasarımının, 1 adet 3 kW rüzgar türbini, 1,16 kW fotovoltaiik (PV) panel ve 0,750 kW sistem eviricisinden oluşan hibrit yapı, bölgenin koşulları için en verimli çözüm olarak belirlenmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre sistem, yılda toplam 7.955 kWh elektrik enerjisi üretmektedir. Üretilen enerjinin %61'lik (4.851 kWh/yıl) büyük bir kısmı rüzgar türbininden sağlanırken, %19,4'lük (1.543 kWh/yıl) kısmı güneş panellerinden elde edilmektedir. Sistemin yenilenebilir enerji fraksiyonu %80 gibi yüksek bir orana ulaşarak, konutun dış enerjiye olan bağımlılığını en düşük seviyeye indirmiştir. Ekonomik veriler incelendiğinde; Net Bugünkü Maliyet (NPC) 2.505,34 \$ ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (LCOE) 0,0247 \$/kWh olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, yük fazlası olarak üretilen enerjinin %47,5'lik kısmının (3.713 kWh/yıl) şebekeye geri satılması, sistemin ekonomik olarak sürdürülebilir olmasını sağlayan bir gelir kaynağı oluşturmaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar, Sinop konumunda kurulan küçük ölçekli hibrit sistemlerin hem teknik açıdan güvenilir hem de yatırım maliyeti açısından oldukça verimli ayrıca yenilenebilir enerjiye teşvik açısından avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Hibrid enerji sistemleri, Maliyet optimizasyonu, Şebeke bağlantılı sistemler, Rüzgar-güneş enerjisi

## **Abstract**

This study presents a technical and economic analysis of a grid-connected hybrid renewable energy system in Sinop, one of the regions in Turkey with high wind energy potential. The primary objective of the research is to reduce dependency on fossil fuels and meet the energy demand of a residence at the lowest cost by utilizing renewable energy sources. The analyses were carried out using HOMER Pro software, by importing Sinop's solar radiation and wind speed data and taking these values as a basis. As a result of different scenarios tested, the hybrid structure consisting of one 3 kW wind turbine, 1.16 kW photovoltaic (PV) panels, and a 0.750 kW system converter was identified as the most efficient solution for the regional conditions.

According to the simulation results, the system produces a total of 7,955 kWh of electrical energy annually. While a major portion of 61% (4,851 kWh/year) of the produced energy is provided by the wind turbine, 19.4% (1,543 kWh/year) is obtained from the solar panels. The renewable energy fraction of the system reached a high rate of 80%, reducing the residence's dependency on external energy to the lowest level. When the economic data are examined, the Net Present Cost (NPC) was calculated as \$2,505.34 and the Levelized Cost of Energy (LCOE) as \$0.0247/kWh. Furthermore, selling 47.5% (3,713 kWh/year) of the surplus energy produced back to the grid creates a source of income that ensures the economic sustainability of the system. The results obtained from the study reveal that small-scale hybrid systems established in the Sinop location are both technically reliable and highly advantageous in terms of investment costs as well as promoting renewable energy.

**Keywords:** *Hybrid energy systems, Cost optimization, Wind-solar energy, Grid-connected systems*

## **1. Giriş**

Günümüzde fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi ve küresel iklim değişikliğinin çevresel etkileri, enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklara yönelmeyi gerekli hale getirmiştir. Karbon emisyonlarını azaltma ve sürdürülebilir enerji çözümleri geliştirmeye yönelik, rüzgar ve güneş enerjisi gibi çevre dostu kaynaklar, geleneksel enerji üretim yöntemlerine en güçlü seçenekler olarak ön plana çıkmaktadır. Literatürde, sadece yenilenebilir kaynaklara yönelik hibrit sistemlerin hem evsel yüklerin karşılanmasında hem de elektrikli araçların şarj edilmesinde etkin bir çözüm yolu bulunduğu vurgulanmaktadır [1].

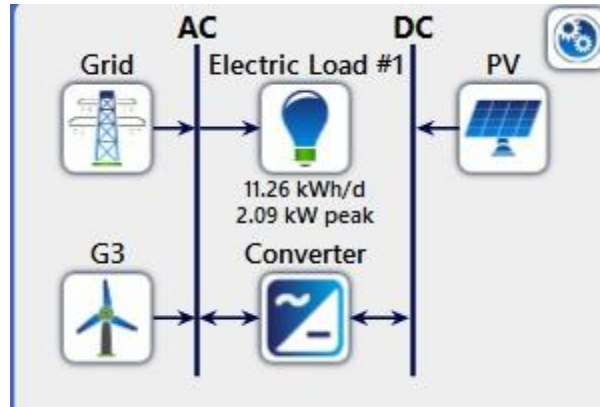
Ancak, rüzgar ve güneş gibi kaynakların değişkenlik gösteriyor olması, tek başına kullanılmaları bazen yetersiz kalmaktadır. Bu noktada "hibrit enerji sistemleri", farklı enerji kaynaklarını bir araya getirerek hem enerjinin sürekliliğini sağlamakta hem de sistem verimliliğini artırmaktadır. Yapılan çalışmalar, özellikle toplu yaşam alanlarının veya 40 haneli küçük toplulukların elektrik ve ısınma ihtiyacının şebekeden bağımsız hibrit sistemlerle karşılanmasının teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğunu göstermektedir [2].

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla yüksek yenilenebilir enerji potansiyeline sahip bir ülkedir. Karadeniz kıyı şeridinde yer alan Sinop ili, özellikle rüzgar hızı değerleri bakımından bu tür yatırımlar için stratejik bir öneme sahiptir. Sinop'ta şebekeden bağımsız bir çiftlik evi özelinde yapılan önceki araştırmalar, bölgenin hibrit sistemler için ekonomik açıdan uygun bir zemin sunduğunu kanıtlamıştır [3].

Bu çalışmanın amacı, Sinop lokasyonunda bulunan evsel bir yükün enerji ihtiyacını karşılamak için rüzgar ve güneş enerjisinden oluşan, önceki çalışmalardan farklı olarak şebeke bağlantılı (on-grid) bir hibrit sistemin en uygun tasarımını oluşturmaktır. Çalışmada, HOMER Pro yazılımı kullanılarak teknik yeterliliğin yanı sıra Net Bugünkü Maliyet ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti gibi değerler üzerinden ekonomik olarak kâr durumu değerlendirilmiştir.

## 2. Sistem Tanıtımı

Bu çalışmada, Sinop ilindeki bir konutun enerji talebini karşılamak üzere Şekil 1'de verildiği gibi, fotovoltaik (PV) paneller, rüzgar türbini ve lityum iyon batarya grubundan oluşan şebeke bağlantılı hibrit bir mikro-şebeke tasarlanmıştır. Sistem; AC ve DC baralar üzerinden enerji akışını yöneten bir dönüştürücü (converter) ve enerji sürekliliğini sağlayan bir şebeke bağlantısı içermektedir.



Şekil 1. Sistem Şeması

### 2.1. Yük Analizi ve Tüketim Profili

Modellenen konutun enerji ihtiyacı, Sinop bölgesindeki standart bir hanenin tüketim verileri baz alınarak oluşturulmuştur. Sistemin günlük ortalama enerji talebi 11,26 kWh olup, yıllık toplam yük 4.109 kWh olarak hesaplanmıştır. Anlık güç talebinin en yüksek olduğu (peak load) seviye 2,09 kW olarak belirlenmiş, sistem tasarımı bu pik değerleri karşılayacak şekilde optimize edilmiştir.

### 2.2. Fotovoltaik (PV) Panel Sistemi

Enerji üretimine katkı sağlamak amacıyla 1,16 kW kapasiteli "Generic flat plate PV" panel kullanılmıştır. Güneş panelleri, yıllık toplam 1.543 kWh elektrik üreterek toplam üretimin %19,4'ünü karşılamaktadır. Bu, özellikle güneş ışınımının yüksek olduğu gündüz saatlerinde yükün karşılanmasında önemli bir rol almaktadır.

### 2.3. Rüzgar Türbini Ünitesi

Sistemin ana enerji kaynağı, nominal gücü 3 kW olan bir adet rüzgar türbinidir. Sinop'un rüzgar potansiyeli sayesinde bu türbin, yıllık 4.851 kWh enerji üreterek toplam üretim kapasitesinin %61'ini sağlamaktadır. Rüzgar enerjisinin yüksek payı, sistemin gece saatlerinde de yenilenebilir kaynaklardan beslenmesini sağlamaktadır.

### 2.4. Güç Dönüştürücü (Converter)

DC barada üretilen güneş enerjisi ile AC barada çalışan evsel yükler ve rüzgar türbini arasındaki uyumu sağlamak için 0,750 kW kapasiteli bir güç dönüştürücü modele eklenmiştir. Bu bileşen, hem evirici (inverter) hem de doğrultucu (rectifier) fonksiyonlarını yerine getirmektedir. Dönüştürücü kapasitesi, sistemdeki enerji akışını optimize edecek ve kayıpları en düşük hale getirecek şekilde HOMER Pro tarafından belirlenmiş, sistem verimliliği korumak açısından önemli bir rolü vardır.

### 2.5. Şebeke Entegrasyonu ve Enerji Yönetimi

Tasarlanan sistem "şebeke bağlantılı" bir yapıdır. Bu yapı, iki yönlü bir enerji alışverişine izin vermektedir:

**Enerji Alımı:** Yenilenebilir kaynakların (rüzgar ve güneş) anlık talebi karşılayamadığı durumlarda, şebeke devreye girerek enerji açığını kapatmaktadır (Yıllık 1.709 kWh).

**Enerji Satışı:** Tüketimin düşük, üretimin yüksek olduğu zamanlarda (özellikle rüzgarlı geceler veya güneşli öğle saatleri), fazla enerji şebekeye satılmaktadır (Yıllık 3.713 kWh). Bu yönetim sayesinde sistem, hem kesintisiz enerji sağlanmasını garanti altına almakta hem de "Net Ölçüm" (Net Metering) mantığıyla ekonomik bir gelir modeli oluşturmaktadır.

## 3. Analiz ve Yöntem

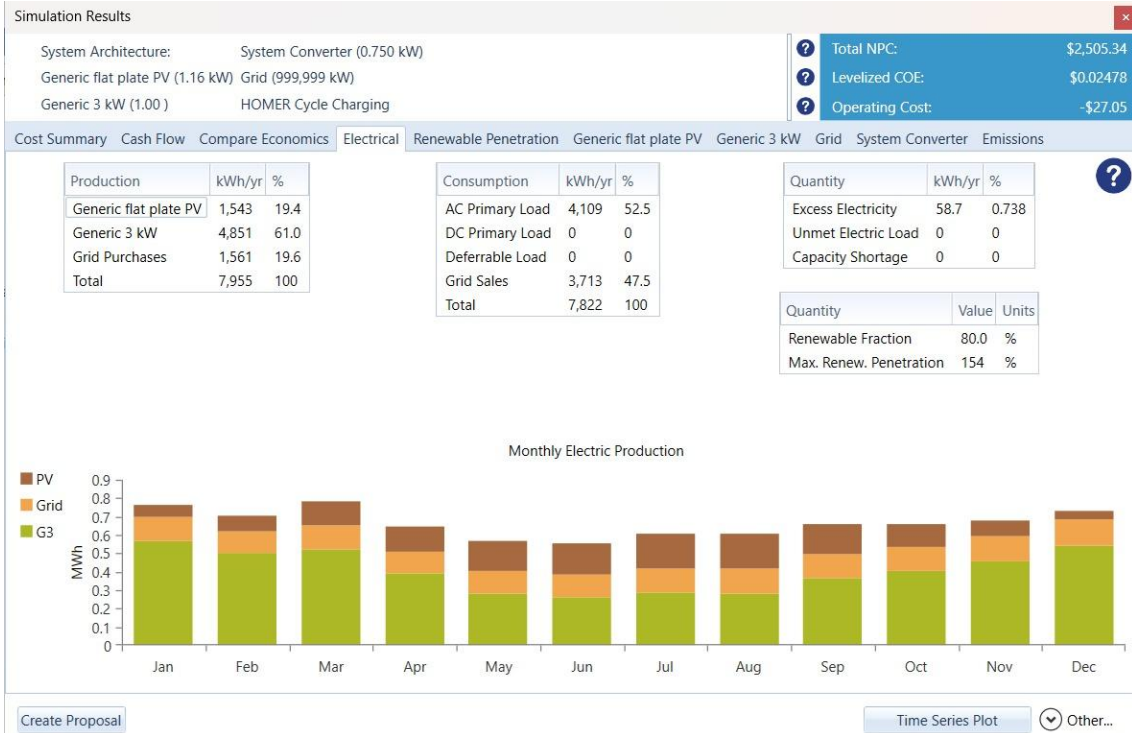
Bu çalışmada, hibrit enerji sisteminin teknik , ekonomik analizi ve optimizasyonu için HOMER yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon modelinde, sistem bileşenleri olarak 1.16 kW kapasiteli düzlemsel fotovoltaik (PV) paneller, 3 kW nominal güce sahip rüzgar türbini ve 0.750 kW kapasiteli bir sistem dönüştürücü tanımlanmıştır. Sistem şebeke bağlantılı olarak tasarlanmıştır ve "Net Ölçüm" kuralına uygun şekilde hem enerji alımına hem de satımına izin veren bir tasarım yapılmıştır.

Analizin temel amacı, sistemin ömrü boyunca oluşacak toplam Net Bugünkü Maliyeti ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyetini minimum değerde tutmaktır. Simülasyonlarda, Sinop ilinin coğrafi koordinatlarına ait güneş ışınımı ve rüzgar hızı verileri içe aktararak kullanılmış, sistemin yük talebini karşılama başarısı ve yenilenebilir enerji penetrasyon oranları performans kriteri olarak göz önünde bulundurulmuştur.

## 3. Sonuçlar ve tartışma

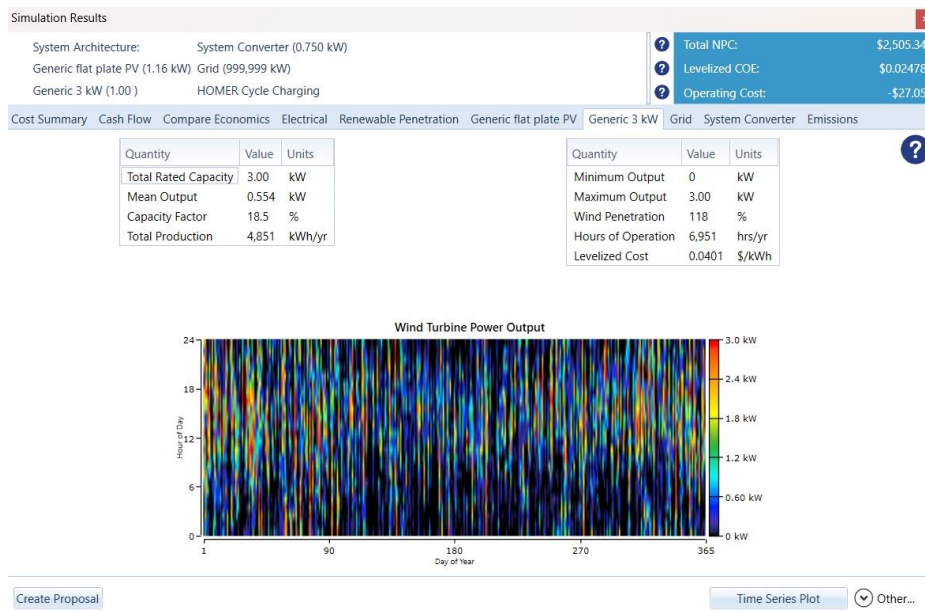
Gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre, Sinop koşulları için en uygun sistem tasarımının rüzgar ve güneş enerjisi destekli şebeke bağlantılı yapı olduğuna karar verilmiştir. Sistemin yıllık toplam elektrik üretimi Homer yazılımı ile 7.955 kWh olarak

hesaplanmıştır. Bu üretimin kaynaklara göre dağılımı Şekil 2’de incelendiğinde; rüzgar türbininin 4.851 kWh/yıl (%61.0) üretimle baskın enerji kaynağı olduğu, fotovoltaik panellerin ise 1.543 kWh/yıl (%19.4) katkı sağladığı görülmektedir. Geriye kalan enerji ihtiyacı ise şebekeden satın alma yoluyla (%19.6) karşılanmaktadır.

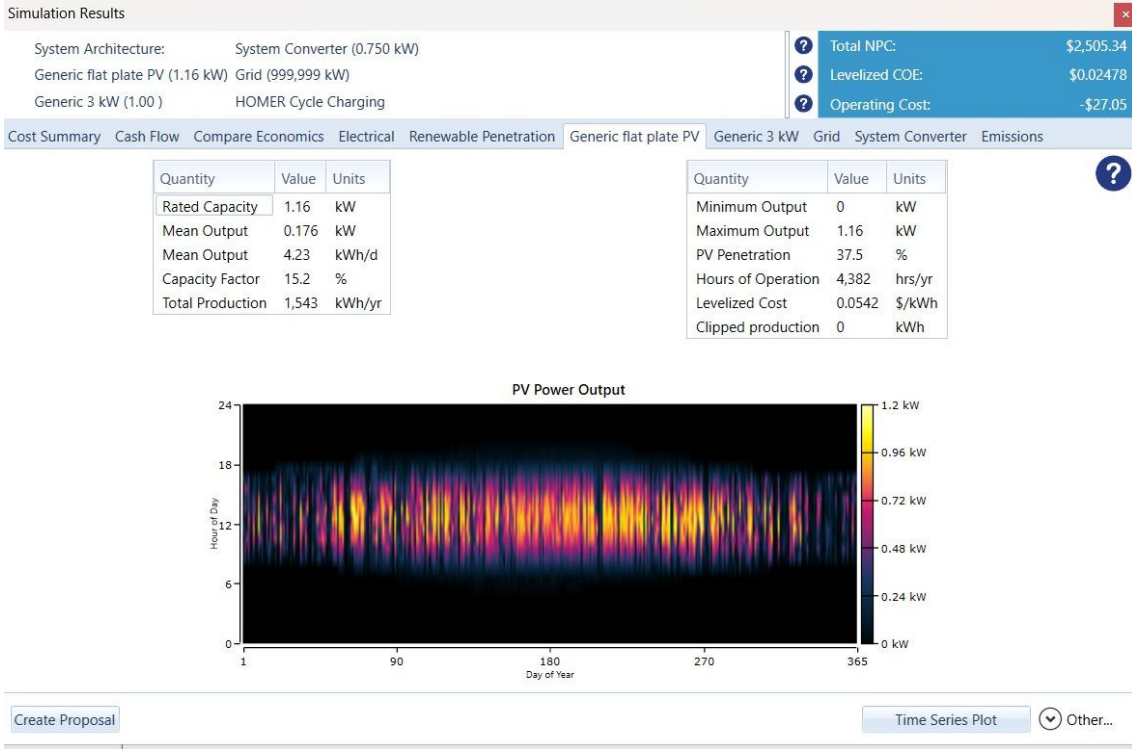


Şekil 2. Üretilen Elektrik Miktarı

Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde ise rüzgar türbininin kapasite faktörü %18.5 olarak gerçekleşmiş ve yıllık 6.951 saat çalışma süresine ulaşarak sistemin temel yükünü çoğunlukla karşılamaktadır. PV sistemi ise %15.2 kapasite faktörü ile çalışmaktadır.

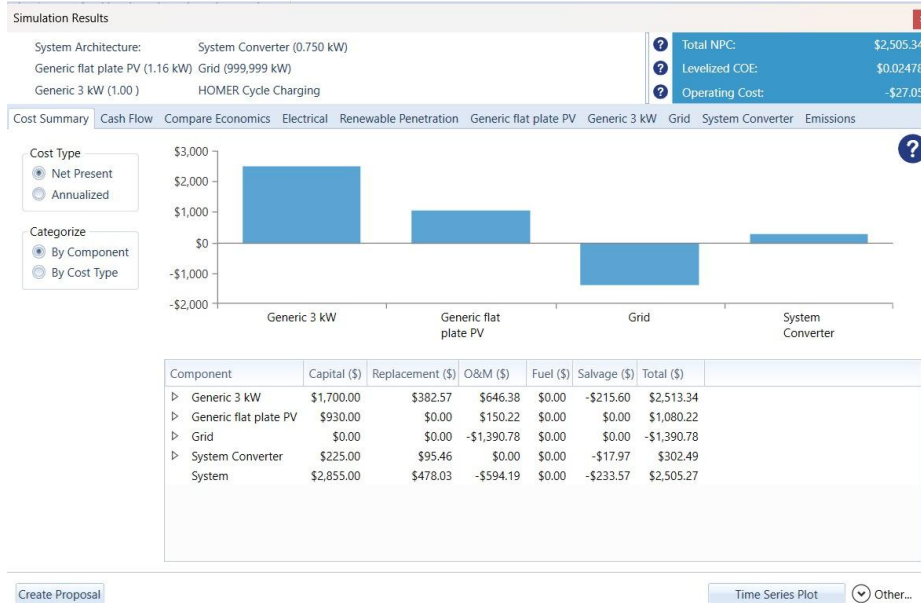


Şekil 3. Rüzgâr Türbini Değerleri



Şekil 4. Fotovoltaik Panel Değerleri

Ekonomik değerler açısından sistem oldukça verimli bir sonuç oluşturmaktadır. Sistemin Net Bugünkü Maliyeti 2.505,34 \$ ve Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti 0,02478 \$/kWh olarak hesaplanmış, Şekil 5'te grafik ve değerleri gösterilmiştir. Önemli bir diğer sonuç ise İşletme Maliyetinin -27.05 \$ olmasıdır; bu durum sistemin şebekeye sattığı enerjiden elde ettiği gelirin, işletme giderlerinden fazla olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak sistem, ürettiği enerjinin %47,5'lik kısmını (3.713 kWh/yıl) şebekeye geri satarak ekonomik olarak sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır.



Şekil 5. Sistemin Maliyet Grafiği

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Sinop lokasyonunda bir konutun enerji ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanan hibrit yenilenebilir enerji sisteminin teknik ve ekonomik uygunluğu incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, rüzgar ve güneş enerjisinin hibrit kullanımıyla %80 oranında yenilenebilir enerji fraksiyonuna ulaşılabileceğini göstermiştir[4].

Sistem, 0.02478 \$/kWh gibi oldukça fosil yakıt kaynaklı şebeke elektriğiyle kıyaslanabilir bir birim enerji maliyeti sunarak bir alternatif oluşturmaktadır. Teknik ve ekonomik avantajlarının yanı sıra, sistemin çevresel etkisi de fosil yakıtlara göre son derece pozitifdir[5-6]. Simülasyon sonuçlarına göre, önerilen sistem sayesinde yıllık 1.360 kg karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonunun önüne geçilmektedir. Ayrıca 5.90 kg kükürt dioksit ve 2.88 kg azot oksit salınımı da engellenmektedir. Sonuç olarak, tasarlanan bu hibrit sistem, hem enerji maliyetlerini düşürme hem de karbon ayak izini azaltma potansiyeli ile bölge için uygulanabilir ve sürdürülebilir bir çözüm modelidir.

#### Kaynaklar

- [1].Turkdoğan, Sunay. "Design and optimization of a solely renewable based hybrid energy system for residential electrical load and fuel cell electric vehicle." **Engineering Science and Technology, an International Journal** 24.2 (2021): 397-404.
- [2].Türkdoğan, Sunay, Muhammet Talha Mercan, and Tuğçe Çatal. "Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: Teknik ve ekonomik analizleri." **Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi** 18 (2020): 476-485.
- [3].Türkdoğan, Sunay, Serkan Dilber, and Barış Çam. "Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açıdan İncelenmesi." **Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi** 3.2 (2018): 52-65.
- [4].Nema, Pragma, R. K. Nema, and Saroj Rangnekar. "A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review." *Renewable and sustainable energy reviews* 13.8 (2009): 2096-2103.
- [5].Celik, Ali Naci. "Optimisation and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic-wind hybrid energy systems in comparison to single photovoltaic and wind systems." *Energy conversion and management* 43.18 (2002): 2453-2468.
- [6].Eke, R., O. Kara, and K. O. R. A. Y. Ulgen. "Optimization of a wind/PV hybrid power generation system." *International Journal of Green Energy* 2.1 (2005): 57-63.