



RESEARCH ARTICLE

Meeting the Charging Station Energy Needs Using Hybrid Energy Systems at Batman University West Raman Campus: Technical and Economic Analysis

* Muhammed Said YILMAZ, ¹ Mehmet Rida TUR, and ² Davut OZHAN

*Batman University, Graduate Education Institute, Electrical Engineering Department, Batman, Türkiye
muhammedsaid.yilmaz@student.batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5960-8676,

¹BatmanUniversity, Faculty of Engineering and Architecture, Electrical Engineering Department, Batman, Türkiye
mrida.tur@batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5688-4624,

²Mardin Artuklu University, Vocational School, Electronics Department, Mardin, Türkiye
davutozhan@artuklu.edu.tr, Orcid. 0000-0002-0400-1970,

HIGHLIGHTS

- Energy production with low emission values through the use of renewable resources
- Being connected to the grid, reducing battery costs to zero and using hybrid resources
- Uninterrupted energy with the use of renewable resources and grid connection
- Determining the profit-loss ratio by performing cost analysis before establishing a hybrid energy system

Keywords:

- Hybrid system
- HOMER Pro
- Renewable energy

GRAPHICAL ABSTRACT

In this study, the technical and economic analysis of a hybrid system consisting of grid-connected, renewable energy sources (solar and wind energy) was carried out using the HOMER Pro program as a simulation to meet the energy needs of the electric vehicle charging station at Batman University West Raman Campus. In the study, the HOMER Pro program was introduced, the geographical location of Batman University was shown, and solar and wind energy potentials were examined. The load profile for electric vehicles of our university campus has been prepared and the optimum dimensioning of the photovoltaic and wind turbine system has been made. A 100 kW hybrid system model has been designed. The photovoltaic (PV) system size is determined as 90 kW and the wind turbine system size is 10 kW. The power output results of the photovoltaic (PV) system and wind turbine (RT) system were calculated. Monthly energy purchase-sale values were calculated and the profit-loss situation was examined. Emission values of the hybrid system; CO₂ was found to be 1,852 kg/year, SO₂: 8.03 kg/year and NO₂: 3.93 kg/year. According to the simulation results, the capital cost was found to be \$66,500, the current net cost was \$8,599.82, the unit energy cost was \$0.045, and the system depreciation period was 7 years. An economic comparison of the hybrid system and wind turbine system has been made and it has been observed that the hybrid system provides gains over the years.

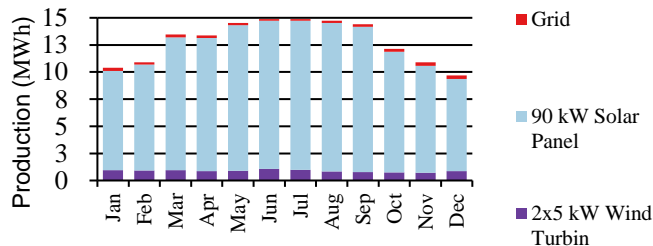


Figure A. Monthly electricity usage

Article Info:

Received : 14 August 2023

Accepted : 28 September 2023

DOI: 10.53525/jster.1342770

*Correspondence:

Muhammed Said YILMAZ
muhammedsaid.yilmaz@student.batman.edu.tr

Phone: +90 552 5963232

Aim of Article : Technical and economic analysis of renewable hybrid Resources.

Theory and Methodology : Optimizing with renewable resources with the HOMER Pro program. Perform cost and sensitivity analysis.

Findings and Results: The solar potentials of Batman province are much higher than the wind potentials. The amount of profit from annual electricity production is \$ 6,137.

Conclusion : It contributes to a cleaner environment and green energy with low emission values through the use of renewable resources. The reason for creating a grid-connected system is to get rid of battery costs and provide uninterrupted energy.



ARAŞTIRMA MAKALESİ | RESEARCH ARTICLE

Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak Şarj İstasyonu Enerji İhtiyacının Karşlanması: Teknik ve Ekonomik Analizi

* Muhammed Said YILMAZ, ¹ Mehmet Rıda TÜR, ² Davut ÖZHAN

^{*1}Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye
muhammedsaid.yilmaz@student.batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5960-8676

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye.
mrida.tur@batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5688-4624

²Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik Teknolojisi Bölümü, Mardin, Türkiye
davutozhan@artuklu.edu.tr, Orcid. 0000-0002-0400-1970,

Alıntı / Citation :

Yılmaz, M.Said., Tür, M.Rıda, Özhan, D., (2023). *Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak Şarj İstasyonu Enerji İhtiyacının Karşlanması: Teknik ve Ekonomik Analizi*, Journal of Science, Technology and Engineering Research, 4(2): 100-111. DOI: 10.53525/jster.1342770

ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Yenilenebilir kaynak kullanımı ile düşük emisyon değerli enerji üretimi
- Şebeke ile bağlantılı olmak, pil maliyetini sıfıra indirmek ve hibrit kaynak kullanmak
- Yenilenebilir kaynak kullanımı ve şebeke bağlantısı ile kesintisiz enerji
- Hibrit bir enerji sistemi kurmadan önce maliyet analizi yapılarak kâr-zarar oranını tespit etmek

Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 14 Ağustos 2023

Kabul Tarihi : 28 Eylül 2023

DOI: 10.53525/jster.1342770

*Sorumlu Yazar:

Muhammed Said YILMAZ,
muhammedsaid.yilmaz@student.batman.edu.tr

Tel: +90 552 5963232

ÖZET / ABSTRACT

Bu çalışmada, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nde elektrikli araç şarj istasyonunun enerji ihtiyacını karşılamak için simüle olarak, şebekeye bağlı, yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş ve rüzgâr enerjisi) oluşan hibrit bir sistemin teknik ve ekonomik analizi HOMER Pro programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada HOMER Pro programı tanıtılmış, Batman Üniversitesinin coğrafi konumu gösterilmiş, güneş ve rüzgâr enerji potansiyelleri incelenmiştir. Üniversite kampüsümüzün elektrikli araçlar için yük profili çıkarılmış, fotovoltaik ve rüzgâr türbin sisteminin optimum boyutlandırması yapılmıştır. 100 kW boyutunda hibrit bir sistem modeli tasarlanmıştır. Fotovoltaik (FV) sistem boyutu 90 kW, rüzgâr türbin sistem boyutu 10 kW olarak belirlenmiştir. Fotovoltaik (FV) sistem ve rüzgâr türbin (RT) sistemi güç çıkış sonuçları hesaplanmıştır. Aylık enerji alım-satım değerleri hesaplanmış ve kâr-zarar durumu incelenmiştir. Hibrit sistemin emisyon değerleri; CO₂: 1.852 kg/yıl, SO₂: 8,03 kg/yıl ve NO₂: 3,93 kg/yıl olarak bulunmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre sermaye maliyeti 66.500 \$, bugünkü net maliyet 8.599,82 \$, birim enerji maliyeti 0,045 \$ ve sistem amortisman süresi 7 yıl olarak bulunmuştur. Hibrit sistem ve rüzgâr türbin sistemi ekonomik karşılatırması yapılmış ve hibrit sistemin yıllara göre kazanç sağladığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Sistem, HOMER Pro, Yenilenebilir Enerji



I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Yakın tarihimize baktığımızda, fosil yakıt kaynaklarının kullanımı dünyamıza ve atmosfere fazlaca zarar verdiği görülmektedir. Atmosfere yayılan zararlı sera gazları hem atmosfer tabakasını delmekte hem de küresel ısınmayı tetiklemektedir. Bu da karbon emisyonunu artırmaktadır. Bu zararlı gazların yayılmasında otomobillerinde büyük payı vardır. Geçmişten günümüze kadar içten yanmalı araçların daha çok kullanıldığı görülmektedir. Son yıllarda, karbon emisyonlarının, sera gazının ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın etkili bir şekilde azaltılması projeleri artmıştır [1]. Daha düşük işletme maliyeti, daha düşük gürültü seviyeleri ve araç işletiminde daha yüksek verimlilik sebebiyle içten yanmalı motorlu (İYM) araçlara ilgi azalmış, elektrikli araçlara (EA'lar) yeniden ilgi duyulmuştur [2]. İçten yanmalı motorlu (İYM) araçların kademeli olarak elektrikli araçlarla (EA'lar) değiştirilmesi ulaşım sektöründe oldukça teşvik edilmektedir. 2050'ye kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosu (Net Zero Emissions), 2030'da 300 milyonun üzerinde bir elektrikli otomobil filosu ve yeni otomobil satışlarının %60'nı elektrikli otomobillerin oluşturduğunu öngörmektedir [3]. EA'ların temel avantajı, yakıt tasarrufu ile birlikte şehir kirliliğini ve karbon emisyonunu azaltma potansiyelleridir. EA'ların ekonomik ve çevresel performansı, sürdürülebilir enerji üretimi ile birleştiğinde yükselir ve akıllı şarj stratejileri uygulandığında daha da iyileştirilir [4].

Şarj altyapısının mevcudiyeti, EA'ların benimsenmesini artırmada çok önemli bir faktördür. Normalde EA'ların evde her gece yeniden şarj edilmesi beklenir, ancak EA'ların sınırlı menzili, uzun mesafeli yolculuklar için halka açık yerlerde şarj edilmesini bir gereklilik haline getirir. Bu nedenle evde şarjı tamamlayıcı olarak bir kamusal şarj hizmetinin sağlanması temel ihtiyaç olacaktır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının, şarj altyapısının uygulanmasına yönelik yanlış planlamalar, EA'ların benimsenmesini engelleyecektir. Bu nedenle, şarj istasyonlarının yerleşimi doğru bir şekilde yapılmalıdır [5].

Enerji sektörü, elektrikli araç şarjı için güvenli bir elektrik kaynağı sağlamada kilit bir rol oynar. EA şarj ihtiyaçlarının esnek doğası, sorunsuz entegrasyon sağlamak için kullanılabilir. Ancak diğer tüm elektrik yükleri gibi EA'lar da güç sistemini etkilemektedir. Yeterli donanıma sahip olmayan alanlar, tedarik veya kalite sorunları yaşayabilmektedir [6]. Bu nedenle artan maliyetler ve sera gazı emisyonları yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla ilgi gösterilmesine neden olmuştur. Güneş ve rüzgâr enerjileri,

tek kaynaktan daha yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip bir hibrit enerji sistemi oluşturmak için birlikte entegre edilebilecek en erişilebilir ve önemli yenilenebilir kaynaklardır [7]. Yenilenebilir enerjiye (güneş ve rüzgâr enerjisine) dayalı şarj istasyonları, fosil yakıt tüketimini azaltan, yatırım maliyetini optimize eden ve yenilenebilir kaynaklar tarafından üretilen güçteki dalgalanmaları dengeleyen dost EA şarj istasyonlarıdır [7].

II. KAYNAK ARAŞTIRMASI [RESOURCE RESEARCH]

Literatür taraması yapıldığında, HOMER Pro yazılımı kullanılarak, birçok hibrit mikro şebeke sisteminin teknik ve ekonomik analiz çalışmalarının yapıldığı görülmektedir.

Adalı [8], Bursa'nın Yıldırım ilçesinde bir konutun elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla şebekeden bağımsız fotovoltaik (FV) + batarya ve şebekeye bağlı FV sistemlerden oluşan güneş enerjisi temelli hibrit enerji sistemlerinin HOMER Pro kullanarak tasarımını gerçekleştirmiştir. Yapılan analizler sonucunda; şebekeden bağımsız sistemin toplam net bugünkü maliyetini 71.386,04 TL, işletme maliyetini 85,06 TL, kWh başına elektrik birim maliyetini 0,094 TL; şebekeye bağlı sistemin toplam net bugünkü maliyetini 13.357,51 TL, işletme maliyetini 26,88 TL, kWh başına birim maliyetini 0,0075 TL olarak hesaplamıştır. Konutlarda şebekeye bağlı sistemin enerji maliyetlerinin düşürülmesi hususunda büyük avantajlarının olduğu belirlenmiştir.

Dawoud [9], Mısır'ın Hurgada şehrine hibrit yenilenebilir kaynaklarla enerji sağlamak için, konutlara fotovoltaik, rüzgâr türbinleri, dizel motorlar ve akümülatörlerden oluşan dört farklı hibrit yenilenebilir kaynağın bir kombinasyonunu tasarlamıştır. Simülasyon sonuçları, optimizasyon ve modelleme işlemleri HOMER yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Teknik ve ekonomik değerlendirme sonucunda; fotovoltaik-rüzgâr-dizel-batarya kaynağının yıllık enerji maliyetinin minimum değeri 0,275 \$/kWh ve fotovoltaik-dizel kaynağın enerji maliyetinin 0,36 \$/kWh ile daha yüksek bir maliyeti olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca çevresel değerlendirmeye göre, fotovoltaik-rüzgâr kaynağının sıfır emisyon değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yenilenebilir kaynakların uzun vadede bu şehir için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kumar, Sethuraman ve Gopi Chennai bölgesinde bir kurumun elektrik yükü talebini karşılamak ve minimum net mevcut maliyeti (Net Present Cost-NPC) elde etmek için HOMER Pro yazılımını kullanarak iki optimum



sistem modellemişlerdir. Önerilen sistem modellemelerine göre optimum-1 sistemi için fotovoltaik, rüzgâr türbini ve biyogeneratörün kapasite faktörü ve katkı yüzdesi sırasıyla; %79,41, %0,98, %19,61 ve %92,83, %0,43, %6,75 olarak bulunmuştur. Optimum-2 sistem modeli için kapasite faktörü ve katkı yüzdesi sırasıyla; %85,86, %2,02, %12,12 ve %93,31, %0,82, %5,87 olarak bulunmuşlardır. NPC ve enerji maliyeti (Cost Of Energy-COE) üzerindeki değişimleri bulmak için fotovoltaik, rüzgâr türbini, pil, dönüştürücü, biyogeneratör ve yakıt maliyetini mevcut maliyetinin 0,8 ile 1,2 katı arasında ayarlanarak duyarlılık analizi yapılmıştır. HOMER Pro simülasyon sonucuna göre elde edilen en uygun sistem, 81 kW fotovoltaik, 1 kW rüzgâr türbini, 20 kW biyogaz jeneratörü, 47,3 kW dönüştürücü ve kurşun asit bataryadan (nominal 101 Ah/12V) oluşan optimum-1 sistemi olmuştur. 1,36 kWh/yıl enerji üretmek için 1,85 \$ net mevcut maliyet hesaplamışlardır [10].

Kahraman, Kütahya ilinin yenilenebilir enerji potansiyellerinin teknik ve ekonomik analizini HOMER ve RETScreen yazılımı kullanarak incelemiştir. Çalışmada güneş enerji santrali ve rüzgâr enerji santrali için ayrı ayrı fizibilite çalışması ve maliyet analizi yapılmış, geri ödeme süresi, iç kârlılık oranı ve net bugünkü değer hesaplanmıştır [11]. Hailu Kebede ve Bekele Beyede, Etiyopya'nın Nifasso adlı tahmini 1059 nüfusu olan kırsal köyü için elektrik talebini sürdürülebilir şekilde karşılayabilen güneş, rüzgâr, yakıt pili ve güç kaynağı ünitesinden oluşan, sıfır emisyonlu bir hibrit güç sisteminin tekno-ekonomik fizibilite çalışması HOMER programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [12].

Mohamud ve ark. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) kampüsüne HOMER yazılımı kullanılarak yenilenebilir kaynaklarla ve şebekeye bağlı bir mikro şebeke sistemi tasarlanmış ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan mikro şebeke sistemi, fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbini (RT) üniteleri ile batarya enerji depolama sistemine sahip ve şebeke bağlantısından oluşmaktadır [13]. Türkdoğan ve ark. Yalova'nın Erikli Yaylasında bir çiftlik evinin elektriksel yük ihtiyacını karşılamak üzere şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin ekonomik analizini yapmışlardır. Çiftlik evinin elektriksel yük ihtiyacını hesaplamış, rüzgâr hızı ve güneş radyasyon verileri kullanarak, HOMER programıyla hibrit enerji sistem modeli oluşturmuşlardır [14].

III. TEORİ VE YÖNTEM [THEORY AND METHODOLOGY]

A. HOMER Pro Programı

Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) Pro programı, hibrit kaynakları araştırmak için genel bir yazılımdır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki NREL (National Renewable Energy Laboratory) Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı, HOMER Pro programını oluşturmuştur. HOMER Pro, güneş ve rüzgâr verileri gibi girdi değişkenlerinin saatlik analizine dayanarak, gerekli yükü karşılayan bileşenlerin en düşük maliyetli kombinasyonunu bulmaya yardımcı olmaktadır. Yıllık yükü karşılayan sistemler için yaşam döngüsü maliyeti yazılım tarafından tahmin edilmektedir. HOMER Pro, şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız, geleneksel veya yenilenebilir teknolojiler gibi farklı sistemlere uygulanabilmektedir. [15].

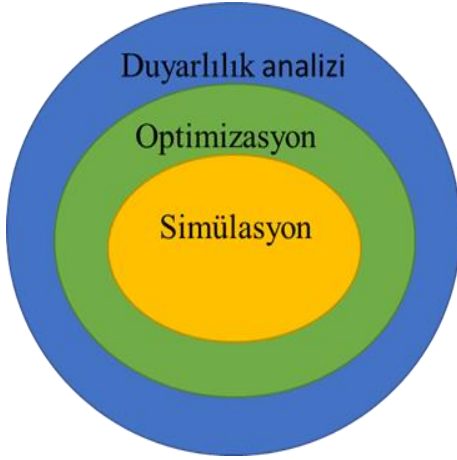
HOMER Pro aynı zamanda, çeşitli teknolojik seçeneklerin ekonomik ve teknik fizibilitesinin değerlendirilmesini sağlayan duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi için bir özellik sağlamaktadır. Bu özellik, yıllık ortalama rüzgâr hızı, yıllık ortalama güneş radyasyonu, dizel fiyatı veya FV hücrelerinin fiyatı gibi belirli bir girdinin tam değerinden şüphe duyulduğu zaman da kullanılabilir. Duyarlılık analizi, bir yıl boyunca (8.760 saat) saatlik olarak enerji dengesi hesaplamaları yapmaktadır. Her saat için elektrik yükünü sistemin o saat boyunca sağlayabileceği enerji ile karşılaştırmaktadır. Duyarlılık analizi yapılırken değerdeki değişimlerin sonuçlar üzerindeki etkisinin incelenmesi için aralıktaki her bir giriş değeri için optimizasyon işlemi tekrarlanmalıdır [12, 16].

Programı çalıştırdıktan sonra sonuçlar, kullanım ömrü maliyetine göre sıralanmış uygun sistem konfigürasyonlarının bir listesi olarak verilmektedir. Sonuçlardan, listenin ilk birkaç satırında gösterilen en düşük maliyetli sistemler uygulama için seçilebilmektedir. Tasarımcı ayrıca listedeki diğer uygulanabilir sistemleri tarayabilmekte ve kurulumun artılarını ve eksilerini maliyet, yenilenebilir kaynak katkısı, bileşenlerin gelecekteki fiyat eğilimi vb. açısından değerlendirerek herhangi bir kurulumu almaya karar verebilmektedir. HOMER Pro, girdileri net mevcut maliyetlerine göre sıralanan farklı uygun sistem konfigürasyonları sağlamak için kullanılmaktadır [16].

HOMER Pro, enerji sistemlerini simüle eder, maliyete göre optimize edilmiş sistem yapılandırmalarını gösterir ve duyarlılık analizi yapar [17]. HOMER Pro'nun



optimizasyon, duyarlılık analizi ve simülasyon arasındaki ilişki Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Simülasyon, optimizasyon, duyarlılık analizi arasındaki ilişki

HOMER Pro programının temeli simülasyondur. Tasarlanan bulunmasını istediğimiz bütün ekipmanların olasılıkları için uygun bir sistemi simüle etmeye çalışmaktadır. Optimizasyon adımında tüm simülasyon seçeneklerini bulur tanımlanan kriterlere göre sıralar ve filtreler, böylece mümkün olan en iyi seçenekler gösterilmektedir. Duyarlılık analizi, rüzgâr hızı ve yakıt maliyetleri gibi kontrol edilemeyen değişkenlerin belirsizliklerinin etkisini modellemeye ve en uygun sistemin değişimini göstermektedir [18].

B. Ekonomik Kriterler

Bir sistem tasarlanırken her bir elemanın maliyeti düşünülmesi gerekmektedir [19]. Tasarlanan hibrit sistem modelinin maliyet analizi HOMER Pro hesaplama aracı ile yapılmıştır. Maliyet özeti; net bugünkü maliyet (Net Present Cost-NPC), başlangıç maliyeti (Initial Cost-IC), işletme ve bakım maliyeti (Operation and Maintenance-O&M), seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Levelized Cost of Energy-COE)’nden oluşmaktadır. Bir bileşenin bugünkü net maliyeti, tüm proje ömrü boyunca bileşenin kurulması ve çalıştırılmasından, tüm bileşenlerin bugünkü değeri ve proje ömrü boyunca elde ettiği gelirlerin çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Bugünkü net maliyet değerlerinin eksi değer alması üreticinin kazanç elde ettiği manasına gelmektedir. [8, 20]. Bir bileşenin başlangıç maliyeti (IC), projenin başlangıcında o bileşenin kurulu toplam maliyetidir. İşletme ve bakım maliyeti (O&M), bileşenin çalıştırılması ve sürdürülmesi maliyetidir, genellikle yıllık tutar olarak hesaplanmaktadır.

HOMER Pro programında seviyelendirilmiş enerji maliyeti (COE), üretilen elektrik enerjisinin kilovatsaat

başına ortalama maliyeti olarak tanımlanmaktadır. COE Denklem 1 ile hesaplanmaktadır [21].

$$COE = C_{ann,tot} - \frac{c_{boiler}H_{served}}{E_{served}} \quad (1)$$

Bu denklemde; COE (\$/kWh) seviyelendirilmiş enerji maliyetini, $C_{ann,tot}$ (\$/yıl) sistemin toplam yıllık maliyetini, c_{boiler} (\$/kWh) kazan marjinal maliyetini, H_{served} (kWh/yıl) toplam termal yükü, E_{served} (kWh/yıl) toplam elektrik yükünü oluşturmaktadır. Paydaki ikinci terim, yıllık maliyetin termal yükten kaynaklanan kısmıdır. Rüzgâr veya FV gibi termal yük taşımayan sistemlerde ($H_{served}=0$) bu terim sıfırdır.

C. Fotovoltaik Güç Hesabı

HOMER Pro programında FV güç çıkış hesabı Denklem 2’deki gibi elde edilmektedir [21, 22].

$$P_{FV} = Y_{FV} f_{FV} \left(\frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T,STK}} \right) [1 + \alpha_p (T_c - T_{c,STK})] \quad (2)$$

Bu denklemde; Y_{FV} (kW) fotovoltaik (FV) sistemin nominal gücünü, f_{FV} (%) FV sistemin değer kaybı faktörünü (Panellerin kirlenmesi, kablo kayıpları, gölgeleme vb.), \bar{G}_T (kW/m²) anlık zamanda FV panel üzerine düşen güneş ışınımını, $\bar{G}_{T,STK}$ (1 kW/m²) standart test koşullarında (25°C hücre sıcaklığı ve rüzgârsız standart test koşulları) ışınımı, α_p (%/°C) güç sıcaklık katsayısını, T_c (°C) anlık zamanda FV hücre sıcaklığını, $T_{c,STK}$ (25°C) standart test koşullarında FV hücre sıcaklığını ifade etmektedir.

Fotovoltaik (FV) hücre sıcaklığı, FV panel yüzeyinin sıcaklığıdır. Gece boyunca ortam sıcaklığı ile aynıdır ancak tam güneş altında hücre sıcaklığı ortam sıcaklığını 30°C veya daha fazla aşabilmektedir. Ortam sıcaklığından ve dizide çarpan ışınımdan hücre sıcaklığını Denklem 2’deki gibi elde edilmektedir [21, 22].

$$T_c = T_a + G_T \left(\frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \right) \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau a} \right) \quad (2)$$

Bu denklemde; T_a (°C) ortam sıcaklığı, $T_{c,NOCT}$ (°C) FV hücre nominal çalışma sıcaklığı (FV sistemin 0,8 kW/m² güneş ışınımına, 20°C ortam sıcaklığına ve 1 m/s rüzgâr hızına maruz kalması durumunda ulaştığı yüzey sıcaklığıdır.), $T_{a,NOCT}$ (°C) nominal çalışma sıcaklığının tanımlandığı ortam sıcaklığı, $G_{T,NOCT}$ (kW/m²) nominal çalışma sıcaklığının tanımlandığı güneş ışınımı, η_c (%) FV panel verimliliği, τ (%) FV güneş geçirgenliğini, a (%) FV sisteminin soğurma oranıdır.

D. Rüzgâr Türbin Güç Hesabı

HOMER Pro programında, üç aşamalı bir süreç kullanılarak her zaman adımında rüzgâr türbininin güç çıkışını hesaplamaktadır. İlk olarak rüzgâr türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını hesaplamakta, daha sonra standart hava yoğunluğunda rüzgâr türbininin bu rüzgâr hızında ne kadar güç ürettiğini hesaplamakta ve son olarak bu güç çıkış değerini gerçek hava yoğunluğuna göre ayarlamaktadır. Göbek yüksekliği rüzgâr hızı hesabı Denklem 3'teki gibi elde edilmektedir [23, 24].

$$U_{hub} = U_{anem} \cdot \frac{\ln(z_{hub}/z_0)}{\ln(z_{anem}/z_0)} \quad (3)$$

Bu Denklemdede; U_{hub} (m/s) rüzgâr türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızını, U_{anem} (m/s) anemometre yüksekliğindeki rüzgâr hızını, z_{hub} (m/s) rüzgâr türbininin göbek yüksekliğini, z_{anem} (m) anemometre yüksekliğini, z_0 (m) yüzey pürüzlülük uzunluğunu, \ln doğal logaritmayı ifade etmektedir.

Göbek yüksekliğindeki rüzgâr hızı belirlendikten sonra, standart sıcaklık ve basınç koşulları altında, rüzgâr türbininden o rüzgâr hızında beklenen güç çıkışını hesaplamak için Denklem 4 kullanılmaktadır [23, 24].

$$P_{WTG} = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \cdot P_{WTG,STP} \quad (4)$$

Bu Denklemdede; P_{WTG} (kW) rüzgâr türbini çıkış gücünü, $P_{WTG,STP}$ (kW) standart sıcaklık ve basınçta rüzgâr türbini çıkış gücünü, ρ (kg/m³) mevcut hava yoğunluğunu, ρ_0 (1,225 kg/m³) standart sıcaklıkta ve basınçta hava yoğunluğunu ifade etmektedir.

E. Araştırma Verileri

1) Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü

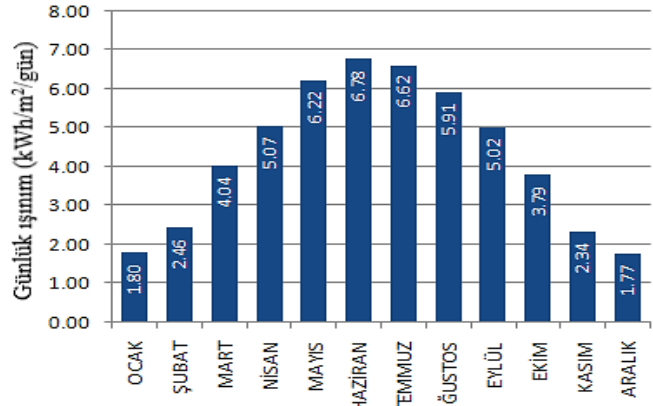
Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü, haritada 37° 47' 22'' K enleminde ve 41° 03' 53'' D boylamında bulunmaktadır, Şekil 2'de yer almaktadır.



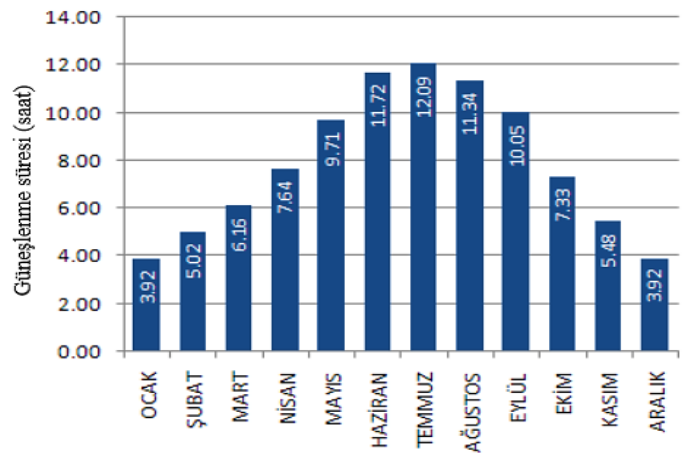
Şekil 2. Batman üniversitesi konumu

2) Güneş Ve Rüzgâr Enerji Potansiyelleri

Şekil 3'te görüldüğü gibi Batman ilinin minimum ışıınım değeri 1,77 kWh/m²/gün ile aralık ayında, maksimum ışıınım değeri 6,78 kWh/m²/gün ile temmuz ayında görülmektedir. Yıllık ortalama ışıınım değeri 4,318 kWh/m²/gün'dür [25].



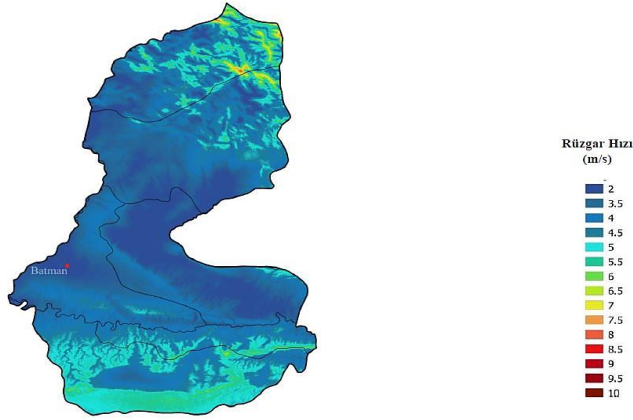
Şekil 3. Batman ili global ışıınım değerleri (kWh/m²/gün)



Şekil 4. Batman ili güneşlenme süreleri (saat)

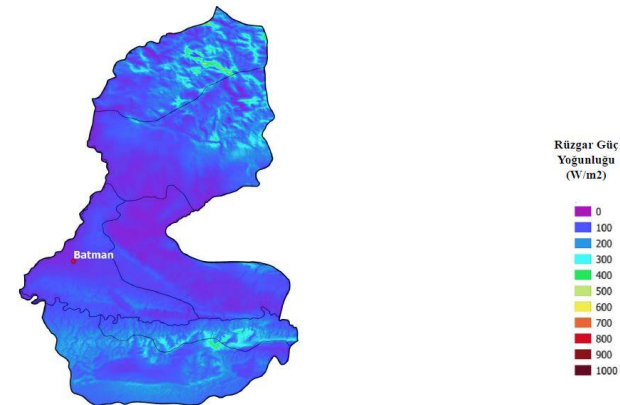
Şekil 4'te minimum güneşlenme süresi 3,92 saat ile aralık ve ocak aylarında, maksimum güneşlenme süresi 12,09 saat ile temmuz ayında görülmektedir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 7,906 saat olarak hesaplanmıştır [25].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayımlanan verilere göre, Batman ilinin 100 metrede minimum rüzgâr hızı 1,60 m/s, maksimum rüzgâr hızı 8,21 m/s olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 4,002 m/s'dir. Şekil 5'te Batman ili rüzgâr hızı dağılımı gösterilmiştir [26, 27].



Şekil 5. Batman ili rüzgâr hızı dağılımı (m/s)

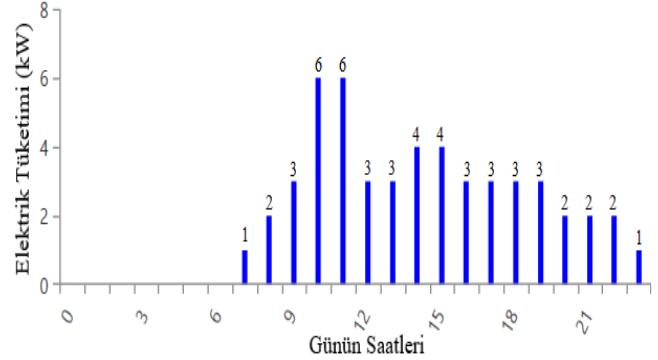
ETKB tarafından yayımlanan verilere göre, 100 metrede minimum güç yoğunluğu 13,81 W/m², maksimum güç yoğunluğu 558,92 W/m² olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu 122,45 W/m² olarak hesaplanmıştır [26, 27]. Şekil 6'da Batman ili rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 6. Batman ili rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı (W/m²)

3) Yük Profili

Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'ne yenilenebilir kaynaklar (güneş ve rüzgâr enerjisi) ile elektrikli araç şarj istasyonu enerji ihtiyacı için hibrit mikro şebeke tasarımı gerçekleştirilmiştir. Günlük elektrik enerjisi ortalama tüketim değeri 51,07 kWh/gün olarak ve pik yük değeri 10.46 kW olarak hesaplanmıştır.

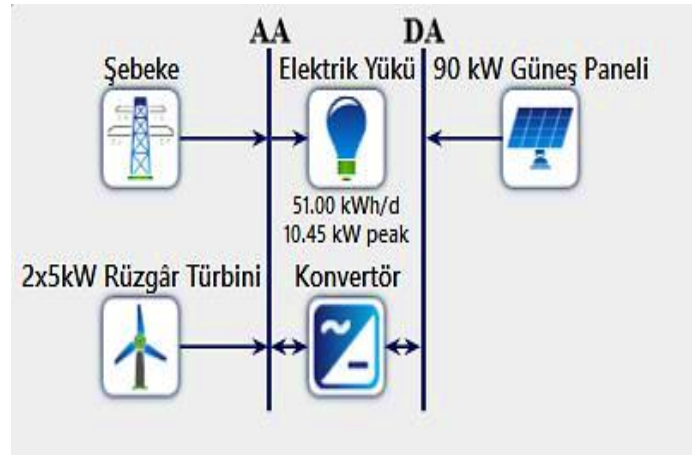


Şekil 7. Günlük ortalama elektrik tüketim grafiği

Şekil 7'de günlük ortalama elektrik tüketim grafiği verilmiştir. Kampüste gece mesai olmadığı için gece saatlerinde herhangi bir tüketim yoktur.

F. Hibrit Sistem Modeli

Üniversite kampüsümüz için hibrit sistem modeli Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Hibrit sistem modeli

Şekil 8'de şebekeye bağlı hibrit sistem modeli görülmektedir. Bu model oluşturulurken Üniversitemiz kampüsüne 2 araç kapasiteli şarj istasyonunun elektrik ihtiyacını karşılayabilecek bir model tasarlanmıştır. Şekil 7'de gösterilen günlük elektrik tüketim grafiği şarj istasyonunun çekeceği tahmini elektrik yük miktarını belirtmektedir. Hibrit sistem modeli tasarlanırken anlık üretilebilecek elektrik miktarının meteorolojik ve teknik

şartlara bağlı değişkenlik gösterebileceği ayrıca elektrikli araçların gün geçtikçe yaygınlaşmasından dolayı gelecek yıllarda talebin artacağı değerlendirilmektedir. Bu sebeple şarj istasyonu kapasitesinin gelecek yıllarda artacağı düşünüülerek, hibrit sistem boyutu 100 kW olarak seçilmiştir.

Hibrit sistem modelinin tasarımında, yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok kullanılan, fotovoltaik (FV) ve rüzgâr türbin (RT) sistemleri kullanılmıştır. Güneş ve rüzgâr enerji potansiyel değerleri Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Değerler incelendiğinde Batman ilinin güneş enerji potansiyeli, rüzgâr enerji potansiyelinden daha büyük olduğu görülmektedir. Tablo 1'de maliyet özetine baktığımızda, 90 kW boyutunda fotovoltaik sistemin kurulum maliyetinin 40.500 \$ ve 10 kW boyutunda rüzgâr türbin sisteminin kurulum maliyeti ise 20.000 \$'dır. Birim maliyet olarak hesaplanırsa fotovoltaik sistemin daha ekonomik olduğu görülmektedir. Bu sebeple fotovoltaik sistem boyutu 90 kW, rüzgâr türbin sistem boyutu 10 kW olarak seçilmiştir. Şebekeye bağlı bir sistem seçilmesinin nedeni olumsuz hava koşullarında ve yeterli enerji üretilmediği durumlarda şebekeden beslenmek içindir.

Fotovoltaik (FV) sistemin adı Jinko Solar JKM350M-72-J4 350 W'tır, nominal kapasite 350 W_p (Watt-peak) değerine sahiptir. Sıcaklık katsayısı 44,9 °C, verimlilik %13'tür ve 90 kW boyutundadır. Rüzgâr türbinin adı AWS HC 5 kW, 2 adettir ve toplam gücü 10 kW'tır. 1 adet 100 kW boyutunda standart konvertör bulunmaktadır.

G. Simülasyon Sonuçları

1) Maliyet Özeti

Tablo 1'de görüldüğü gibi sermaye toplamı 66.500 \$, yenileme maliyeti 2.545,64 \$ ve toplam 8.599,82 \$ kazanç elde edilmektedir. Konvertör yenileme süresi 15 yıl, diğer bileşenlerin yenileme süresi 25 yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1.
Maliyet özeti

Bileşen	Sermaye (\$)	Yenileme Maliyeti (\$)	İşletme & Bakım (\$)	Toplam (\$)
Rüzgâr Türbini	20.000 \$	0 \$	12.927,52 \$	32.927,52 \$
Güneş Paneli	40.500 \$	0 \$	6.463,76 \$	46.963,76 \$
Şebeke	0 \$	0 \$	79.357,98 \$	79.357,98 \$
Konvertör	6.000 \$	2.545,64 \$	0 \$	8.545,64 \$
Sistem	66.500 \$	2.545,64 \$	59.950,23 \$	8.599,82 \$

Tablo 2.

Ekonomik değerler

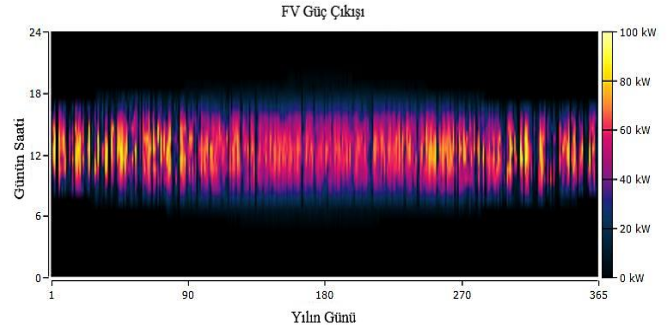
IRR (%)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	NPC (\$)	LCOE (\$)
% 13	7	8.599,82 \$	0,0045 \$

IRR: İç getiri oranı (Internal rate of return), NPC: Net bugünkü maliyet (Net Present Cost), LCOE: Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (Levelized cost of energy)

Tablo 2 incelendiğinde iç getiri oranı %13, sistem amortisman süresi 7 yıl, birim enerji fiyatının ise 0,045 \$ olduğu görülmektedir.

2) Enerji Üretimi

Şekil 9'da fotovoltaik sistem güç çıkış grafiği görülmektedir.



Şekil 9. Fotovoltaik Güç Çıkışı

Tablo 3.

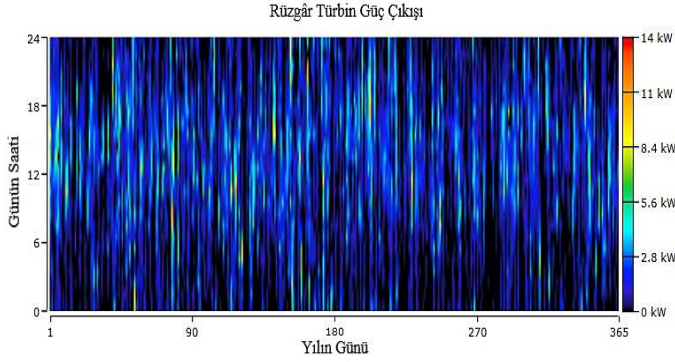
Fotovoltaik sistem güç çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	90,4	kW
Ortalama Çıkış	386	kWh/gün
Çalışma Saati	4.386	h/yıl
Kapasite Faktörü	17,9	%
Toplam Üretim	140.757	kWh/yıl

k: 10³, W: Watt, h: Saat

Tablo 3'te FV sistem güç çıkış değerleri gösterilmiştir. Minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 90,4 kW ve ortalama güç çıkış değeri 386 kWh/gün olmuştur. Güneş panelleri yılda 4.386 saat çalışmaktadır. Toplam Üretim 140.757 kWh/yıl'dır.

Şekil 10'da fotovoltaik sistem güç çıkış grafiği görülmektedir.



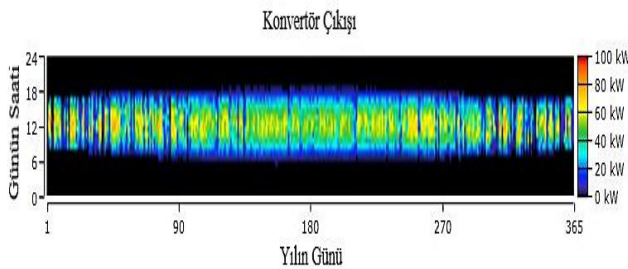
Şekil 10. Rüzgâr Türbin Güç Çıkışı

Tablo 4.
Rüzgâr türbin güç çıkış değerleri

Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kW
Maksimum Çıkış	12,7	kW
Ortalama Çıkış	1,21	kW
Çalışma Saati	6.746	h/yıl
Kapasite Faktörü	11,9	%
Toplam Üretim	10.600	kWh/yıl

Tablo 4’te RT sistem güç çıkış değerleri gösterilmiştir. Minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 12,7 kW ve ortalama güç çıkış değeri 1,21 kW olmuştur. Rüzgâr türbinleri yılda 6.746 saat çalışmaktadır. Toplam Üretim 10.600 kWh/yıl’dır.

Şekil 11’de konvertör çıkışı görülmektedir.



Şekil 11. Konvertör Çıkışı

Tablo 5.
Konvertör çıkış değerleri

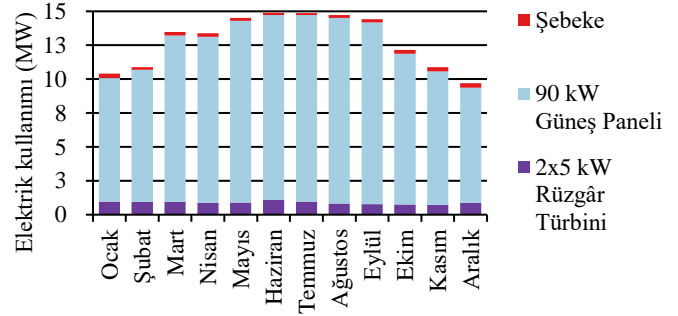
Miktar	Değer	Birimler
Minimum Çıkış	0	kWh/yıl
Maksimum Çıkış	85,9	kWh/yıl
Ortalama Çıkış	15,3	kWh/yıl
Çalışma Saati	4.386	h/yıl
Kapasite Faktörü	15,3	%

Tablo 5’te konvertör güç çıkış değerleri gösterilmiştir. Minimum güç çıkışı 0 kW, maksimum güç çıkışı 85,9 kW ve ortalama güç çıkış değeri 15,3 kW olmuştur. Konvertör yılda 4.386 saat çalışmaktadır.

Tablo 6.
Kullanım değerleri

Bileşen	Miktar (kWh/yıl)	Yüzde (%)
Jinko Solar JKM350M	140.757	% 91,2
AWS HC 5	10.600	% 6,87
Şebeke alımı	2.931	% 1,90
Toplam	154.288	% 100

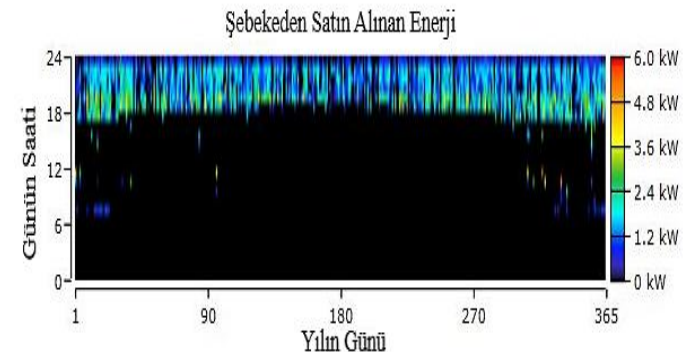
Tablo 6’da yıllık elektrik kullanım değerleri verilmiştir. Buna göre güneş panellerinden elde edilen enerji tüm sistemin %91,2’sini, rüzgâr türbinlerinden elde edilen enerji %6,87’sini, şebekeden alım ise %1,90’ını oluşturmaktadır ve toplam 154.288 kWh/yıl elektrik kullanılmaktadır. Şekil 12’de aylık elektrik kullanımı grafiği gösterilmiştir.



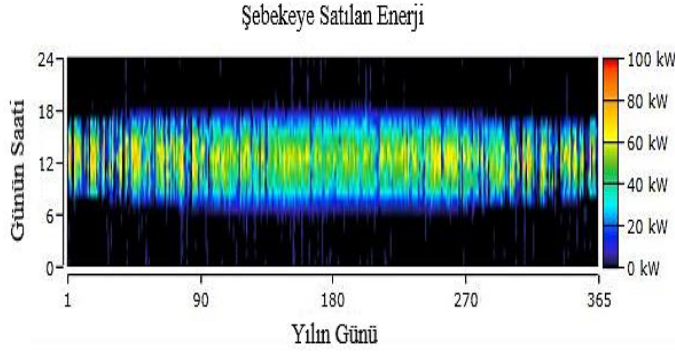
Şekil 12. Aylık elektrik kullanımı

3) Enerji Alım-Satım Değerleri

Şekil 13’te Şebekeden satın alınan enerji grafiği ve Şekil 14’te Şebekeye satılan enerji grafiği gösterilmiştir.



Şekil 13. Şebekeden satın alınan enerji



Şekil 14. Şebekeye satılan enerji

Tablo 7. Enerji alım-satım değerleri

Aylar	Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Satın Alınan Net Enerji (kWh)	Pik Yük (kW)	Enerji Ücreti (\$)
Ocak	317	8.394	-8.077	4,73	-387,99 \$
Şubat	207	9.016	-8.809	4,11	-430,10 \$
Mart	257	11.214	-10.957	4,17	-534,99 \$
Nisan	244	11.218	-10.974	4,07	-536,48 \$
Mayıs	208	12.288	-12.080	4,47	-593,62 \$
Haziran	158	12.641	-12.483	4,87	-616,26 \$
Temmuz	153	12.626	-12.473	3,54	-615,97 \$
Ağustos	222	12.412	-12.190	3,72	-598,40 \$
Eylül	242	12.190	-11.948	4,48	-585,26 \$
Ekim	266	10.030	-9.763	4,35	-474,85 \$
Kasım	315	8.884	-8.569	5,63	-412,72 \$
Aralık	341	7.698	-7.356	5,19	-350,75 \$
Yıllık	2.931	128.609	-125.679	5,63	-6.137 \$

Enerji maliyet değerlerinin eksi değer alması üreticinin kazanç elde ettiği manasına gelmektedir [8, 20]. Tablo 7 incelendiğinde yıllık alınan enerji 2931 kWh, satılan enerji 128.609 kWh ve satın alınan net enerji -125.679 kWh'tir. Yıllık enerji ücretinden 6.137 \$ kâr elde edilmektedir.

4) Emisyon Değerleri

Tablo 8. Emisyon değerleri

Miktar	Değer	Birim
CO ₂	1.852	kg/yıl
SO ₂	8,03	kg/yıl
NO ₂	3,93	kg/yıl

CO₂: Karbondioksit, SO₂: Kükürt dioksit, NO₂: Azot dioksit



Tablo 8'de yıllık emisyon değerleri gösterilmektedir. Şebekeye bağlı bir sistemi simüle ederken HOMER Pro programı, toplam şebeke satın alımlarından toplam şebeke satışlarının çıkarılmasıyla, elde edilen net şebeke satın alımlarını hesaplamaktadır. Net şebeke alımlarıyla ilişkili her kirleticinin emisyonunu hesaplamak için HOMER Pro, net şebeke satın alımlarını (kWh cinsinden) her kirleticiye

ilişkin emisyon faktörüyle (g/kWh cinsinden) çarpılmaktadır [28]. Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi ile sağlanacak sera gazı salım azaltım hesaplamalarına yönelik faktörlere yer vermektedir. Yeni kurulacak bir güneş ya da rüzgâr enerji santrali ile üretilen her 1 kWh'lik elektrik için 0,6488 kg CO₂ emisyonundan kaçınılacağını hesaplamışlardır [29]. Sonuçlar incelendiğinde yenilenebilir enerji kullanımı ile emisyon değerleri düşük seviyelere çekildiği gözlemlenmektedir.

5) Ekonomik Karşılaştırma

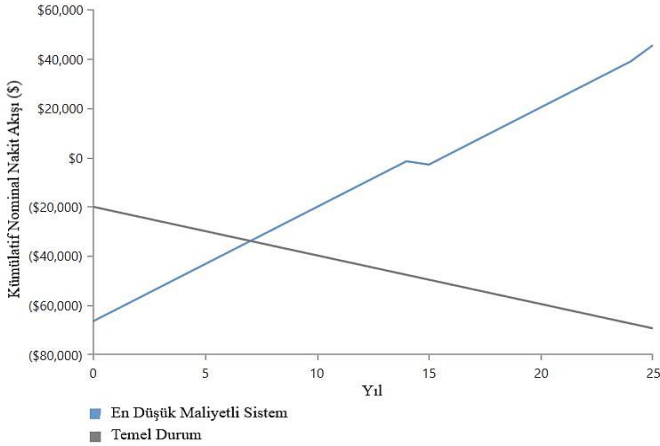
HOMER Pro, simülasyon çıktısı olarak bölgeye kurulabilecek farklı sistem analizi yapmaktadır. Yapılan analizde ilk olarak şebekeye bağlı hibrit sistemin ekonomik değerlemesini yapmıştır, Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir. İkinci seçenek olarak yalnız şebekeye bağlı rüzgâr türbin sisteminin ekonomik analizini yapmıştır. Hibrit sistem ve rüzgâr türbin sisteminin ekonomik karşılaştırması Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Ekonomik karşılaştırma

Bileşen	Hibrit Sistem (100 kW)	Rüzgâr Türbin Sistemi (10 kW)
		
Sermaye (\$)	66.500 \$	20.000 \$
Yenileme Maliyeti (\$)	2.545,64 \$	0 \$
İşletme & Bakım (\$)	59.950,23 \$	25.492,10 \$
Toplam (\$)	8.599,82 \$	45.492,10 \$
NPC (\$)	8.599,82 \$	45.492,10 \$
LCOE (\$)	0,0045 \$	0,1598 \$

Tablo 9 incelendiğinde hibrit sistemin toplam bugünkü maliyeti 8599,82 \$, rüzgâr türbin sisteminin toplam bugünkü maliyeti ise 45.492,10 \$'dır. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti sırasıyla 0,0045 \$, 0,1598 \$'dır.

HOMER Pro'da yapılan analiz sonucunda kazançlı sistemin hibrit sistem olduğu ve yıllara göre kazanç sağladığı, en düşük maliyetli sistem olarak Şekil 15'te gösterilmiştir. Rüzgâr türbin sistemi ise yıllara göre başlangıç durumundan zarar ettiği hesaplanmış ve temel durum olarak Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Hibrit ve rüzgâr türbin sisteminin ekonomik karşılaştırması

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Bu çalışmada Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsüne, yenilenebilir kaynaklar ile hibrit mikro şebeke tasarımı yapılmış, teknik ve ekonomik analiz HOMER Pro programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonunun enerji ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Yenilenebilir kaynak kullanımı ile daha temiz bir çevre ve düşük emisyon değerleri ile yeşil enerjiye katkı sağlanmaktadır. Şebekeye bağlı bir sistem yapılmasının nedeni pil maliyetinden kurtulmak ve kesintisiz enerji sağlamaktır.

Yapılan analiz sonucunda, Batman ilinin güneş enerji potansiyelinin, rüzgâr enerji potansiyelinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Güneş paneli kapasite faktörü %17,9 ve rüzgâr türbini kapasite faktörü %11,9 olarak gerçekleşmiştir. Hibrit sistem tasarımı 100 kW boyutundadır. Fotovoltaik sistem boyutu 90 kW, rüzgâr türbin sistem boyutu 10 kW seçilmiştir. Hibrit sistemin kurulum maliyeti 66.500 \$, sistem amortisman süresi 7 yıl, birim enerji maliyeti 0,0045 \$ ve bugünkü net maliyet 8.599,82 \$ olarak hesaplanmıştır. Tüm sistemin %98,10'luk kısmı yenilenebilir enerji ile %1,90'lık kısmı şebeke alımından sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının %91,2'lik kısmı fotovoltaik (FV) sistem, %6,87'lik kısmı ise rüzgâr türbin (RT) sisteminden oluşmaktadır. Şebekeden alınan enerji 2931 kWh/yıl, satılan enerji 128.609 kWh/yıl olmuştur. Yıllık enerji ücretinden 6.137 \$ kâr elde edilmektedir. HOMER Pro programında optimum sistem için ekonomik karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma da hibrit sistem daha kazançlı çıkmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK [COMPLIANCE WITH ETHICAL RULES]

Yazarlar bu makalenin etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] Mirdalı, M. (2018). Limanlar için bütünlük yenilenebilir enerji güç sistemlerinin tekno-ekonomik analizi (Yüksek Lisans Tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 541837).
- [2] Ioakimidis, C. S., Thomas, D., Rycerski, P., & Genikomsakis, K. N. "Peak shaving and valley filling of power consumption profile in non-residential buildings using an electric vehicle parking lot." *Energy*, vol. 148, pp. 148-158, 2018.
- [3] Tür, M. R., & Apaydin, E. (2022, October). Optimization Of Electric Vehicle Charging Stations. In *2022 Global Energy Conference (GEC)* (pp. 197-201). IEEE.
- [4] Zengin, I., Vardakas, J. S., Zorba, N., & Verikoukis, C. V. "Analysis and quality of service evaluation of a fast charging station for electric vehicles." *Energy*, vol 112, pp. 669-678, 2016.
- [5] Alhazmi, Y. A., Mostafa, H. A., & Salama, M. M. Optimal allocation for electric vehicle charging stations using Trip Success Ratio." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 91, pp. 101-116, 2017.
- [6] International Energy Agency (IEA), (2023, May 6). Grid integration of electric vehicles [Online]. Available: <https://www.iea.org/?spotlight=grid-integration-of-electric-vehicles>
- [7] Ghorbani, N., Kasaeian, A., Toopshekan, A., Bahrami, L., & Maghami, A. "Optimizing a hybrid wind-PV-battery system using GA-PSO and MOPSO for reducing cost and increasing reliability." *Energy*, vol. 154, pp. 581-591, 2018..
- [8] Adalı, S. "Konut Kullanımında Hibrit enerji sisteminin kurulumunun ve maliyetinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği A.B.D., *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, Türkiye, 2022.
- [9] Dawoud, S. M. "Developing different hybrid renewable sources of residential loads as a reliable method to realize energy sustainability." *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60(2), pp. 2435-2445, 2021.
- [10] Kumar, S., Sethuraman, C. P., & Gopi, C. "Sizing optimization and techno-economic analysis of a hybrid renewable energy system using HOMER pro simulation." *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 80, no. 09, pp. 777-784, 2021.
- [11] Kahraman, M. Ü. (2018). Kütahya bölgesi güneş ve rüzgâr enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizi (Master's thesis, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*).



- [12] Hailu Kebede, M., & Bekele Beyene, G. "Feasibility study of PV-wind-fuel cell hybrid power system for electrification of a rural village in Ethiopia." *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2018, 2018.
- [13] Mohamud, F. A., Çetinbaş, İ., Demirtaş, M., & Erkaya, H. H. (2023). Çeşitli elektrikli araç şarj modları sağlayan hibrit bir mikro şebekenin tasarımı ve optimizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1000(1000), 1-9.
- [14] TÜRKDOĞAN, S., DİLBER, S., & Barış, Ç. A. M. (2018). Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açından İncelenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 52-65.
- [15] Ahamed, A. F., Vibahar, R. R., Purusothaman, S., Gurudevan, M., & Ravivarma, P. "Optimization of Hybrid Microgrid of Renewable Energy Efficiency Using Homer Software." *Revista Geintec-Gestao Inovacao E Tecnologias*, vol. 11, no. 4, pp. 3427-3441, 2021.
- [16] Bekele, G. "Study into the potential and feasibility of a standalone solar-wind hybrid electric energy supply system" Ph.D. dissertation, *School of Industrial Engineering and Management (ITM)*, KTH, Brinellvägen, Stockholm, 2009
- [17] Yılmaz, U., Demirören, A., & Zeynelgil, H. L. "Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması." *Politeknik Dergisi*, c. 13, s. 3, ss. 215-223, 2010.
- [18] Tur, MR, Investigation of Optimum Reserve Capacity Requirement in Ancillary Services with Extreme Learning Machine, Volume 49, 2021 - Issue 20, Pages 1555-1566, doi.org/10.1080/15325008.2022.2134515
- [19] Öztürk, Z., Tosun, S., & Öztürk, A. "Örnek bir hibrit yenilenebilir enerji sisteminin HOMER ile modellenmesi, ekonomik ve teknik yönden analizleri." *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 286-299, 2019.
- [20] Mirdalı, M. "Limanlar için bütünleşik yenilenebilir enerji güç sistemlerinin tekno-ekonomik analizi," Yüksek Lisans Tezi, Deniz Ulaştırma Makinası A.B.D., *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [21] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons.
- [22] Graham, V. A., & Hollands, K. G. T. (1990). A method to generate synthetic hourly solar radiation globally. *Solar energy*, 44(6), 333-341.
- [23] Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). Wind energy explained: theory, design and application. John Wiley & Sons.
- [24] Tegner Anker, H., Egelund Olsen, B., & Rønne, A. (2009). Wind Energy and the Law: A Comparative Analysis. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 27(2), 145-178.
- [25] M. R. Tür, E. Apaydin, N. Obut, R. Nar, R. Temiz and N. Mirkan, "Harmonic Analysis of A Grid-Connected Solar Power Plant in Batman Province and Investigation of Power Quality," 2022, *11th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, Istanbul, Turkey, 2022, pp. 508-513, doi: 10.1109/ICRERA55966.2022.9922878.
- [26] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (REPA), (2023, 29 Mayıs). Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli batman [Çevrimiçi]. Erişim: <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>
- [27] Tür, M. R. (2022). Energy Supply Security and Artificial Intelligence Applications. *Insight Turkey/Summer 2022: Embracing Emerging Technologies*, 213.
- [28] Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER), (2020). How homer calculates emissions, <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.14/>, [Erişim Tarihi, 15 Eylül 2023].
- [29] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), (2022). Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü, <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-turkiye-ulusal-elektrik-sebekesi-emisyon-faktoru>, [Erişim Tarihi: 16 Eylül 2023].